Denis Sorel, Pierre Vergély

# Atlas d'initiation aux cartes et coupes géologiques

4E ÉDITION

DUNOD

**Illustrations de couverture :**
En haut : Abstract 3d topographic map © shulz-iStock.com
En bas : extraits de la carte géologique de France © BRGM

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.
Le Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.
Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

DANGER
LE PHOTOCOPILLAGE TUE LE LIVRE

© Dunod, Paris, 1999, 2010, 2014, 2018
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
ISBN 978-2-10-078707-4

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

78284 - (I) CSB 135° - NOC - MGS
Dépôt légal : septembre 2018

Imprimé en France par Loire Offset Titoulet à Saint-Étienne

# Sommaire


Avant-propos 4

Introduction 5

**1. La carte topographique 7**

**2. La carte géologique 13**

**3. Topographie et géologie 21**

**4. Les principales structures géologiques 37**

**5. Chronologie des événements géologiques 49**

**6. La télédétection en cartographie géologique 53**

**7. La coupe géologique 61**

**8. Le commentaire de carte 75**

**9. Études de cartes et coupes géologiques 81**

Planche 9.0 La France géologique : carte au 1/1 000 000e 81
Planche 9.1 Structure tabulaire : Millau (935) 82
Planche 9.2 Failles normales et Tectonique en extension : Molsheim (271), Bessèges (888) 84
Planche 9.3 Tectonique en extension, graben et volcanisme : Clermont-Ferrand (693) 86
Planche 9.4 Structure plissée simple : Lavelanet (1076) 88
Planche 9.5 Structure plissée de type jurassien : Pontarlier (557) 90
Planche 9.6 Plissements superposés : Sillé-le-Guillaume (321) 92
Planche 9.7 Plis et failles inverses : Chambéry (725) 94
Planche 9.8 Plis, chevauchements et décrochements : Domène (773) 96
Planche 9.9 Plis, Plis-failles et écailles : Séderon (916) 98
Planche 9.10 Tectonique d'écaille et de décollement : Saint-Chinian (1014) 100
Planche 9.11 Chevauchements : Grasse-Cannes (999) 102
Planche 9.12 Nappe : la Javie (918) 104
Planche 9.13 Failles décrochantes : Saint-Martin-de-Londres (963) et le Vigan (937) 106
Planche 9.14 Pli et failles inverses : Saint-Martin-de-Londres (963) 108
Planche 9.15 Structure polyphasée : les Alpilles (993) et Châteaurenard sud (966) 110
Planche 9.16 Tectonique d'écailles : Bédarieux (988) 112
Planche 9.17 Tectonique et nappes : Carcassonne (1037) 114
Planche 9.18 Ophiolite : Santo Pietro di Tenda (1106) 116

**10. La lecture des cartes géologiques à petite échelle : avantages et inconvénients 119**

Bibliographie 127

Index 128


© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

# AVANT-PROPOS

Cette quatrième édition reprend les chapitres de base des précedentes éditions indispensables à l'apprentissage de la lecture des cartes géologiques. Elle est complétée par un nouveau chapitre.

Pour illustrer ce dernier chapitre, des exemples ont été pris sur des cartes à petite échelle (1/10 000 000) représentant la géologie de vastes régions d'Amérique du Nord, d'Europe septentrionale et de Sibérie orientale. Dans le principe, la lecture de ces cartes diffère peu de celle des cartes à grande échelle (1/50 000 ou 1/25 000) mais elle apporte une vue synthétique des ensembles géologiques de grande dimension (chaîne de montagne, bassins sédimentaires, marges…). C'est l'occasion de voir que la lecture des cartes géologiques peut se faire sur des documents d'échelles très différentes dont la complémentarité est riche en information et source d'interprétations intéressantes permettant de relier le terrain (*sensu stricto*) à la géologie dynamique globale. On doit cette opportunité au travail de normalisation et d'homogénéisation des divers groupes internationaux de scientifiques qui œuvrent constamment dans ce sens.

Nous rappellerons que les coupes géologiques (quelle que soit l'échelle) présentées au chapitre 9 sont des interprétations faites à partir des règles géométriques des relations surface géologique/topographie et des données géologiques de terrain dont tout géologue sait que les défauts d'affleurement sont l'objet d'interprétation lors de la réalisation des cartes. D'autres interprétations sont donc possibles si des informations supplémentaires sont disponibles.

# Introduction

La carte géologique régionale et la notice explicative qui l'accompagne sont aussi indispensables au géologue qui veut découvrir une région qu'une carte et un guide le sont pour le voyageur qui visite un pays. La carte géologique est un document que tout géologue doit savoir lire, utiliser et réaliser sur le terrain. Apprendre à lire une carte ou dessiner à partir d'elle une coupe géologique sont comme lire une partition et faire des gammes pour un musicien.

Il existe des cartes géologiques d'échelles variées. Certaines couvrent des continents entiers et sont utiles pour une vision à l'échelle de la tectonique globale. D'autres sont à l'échelle d'un pays, par exemple le millionième de la France dont une nouvelle édition vient de paraître. Il existe aussi des cartes régionales ; en France, les cartes régionales détaillées sont au 1/50 000, éditées par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières). Ces documents sont les plus utiles professionnellement, et cet ouvrage leur est plus spécialement adapté, bien que les principes et méthodes présentés soient valables pour des cartes à d'autres échelles.

La carte géologique est indispensable aux géologues de toutes spécialités, et dans des domaines aussi variés que les mines, le pétrole, le génie civil, l'hydrogéologie, l'agronomie, les risques naturels et l'environnement.

Sur cette simple feuille, d'usage pratique sur le terrain comme en salle, sont représentés les divers terrains qui affleurent en surface et leurs relations géométriques et chronologiques. Il faut savoir que la réalisation d'une seule carte représente des années de recherches minutieuses pour une équipe de spécialistes : sur le terrain bien sûr, mais aussi au laboratoire, en documentation et jusqu'à l'étape ultime de l'impression de la feuille.

La carte géologique est un document plan, en deux dimensions. La géologie y est superposée à un fond topographique précis, établi pour la France par l'IGN (Institut Géographique National), qui réalise et édite les diverses cartes topographiques de France. Sur le terrain, ce fond topographique permet de se localiser et de se diriger. En salle, il permet de se représenter le relief du secteur couvert par la carte, de réaliser le profil topographique précis d'une coupe géologique, et de visualiser la disposition des formations géologiques en volume. Une part de cet ouvrage présentera les manières de tirer parti des relations géométriques entre contours géologiques et topographie pour préciser les structures en trois dimensions, ainsi que les relations entre structures et reliefs (géomorphologie structurale).

En marge de la carte, des cartouches colorés et indexés indiquent l'âge et parfois la nature des différents terrains. Sous la carte, un petit schéma des structures géologiques de la feuille (schéma structural) ou une coupe géologique représentative de la feuille aident parfois son abord.

Une notice géologique, fascicule d'une dizaine à une centaine de pages en général, est jointe à chaque carte. Elle apporte d'importantes informations complémentaires que la carte ne peut donner sur la nature des formations (lithologie), l'âge des terrains déterminé par leurs fossiles (paléontologie) ou par les datations radiométriques, les déformations des terrains (tectonique) et leur âge, l'hydrogéologie, les mines, les carrières et matériaux utiles, etc.

Le plan de l'ouvrage est le suivant :

– Les bases de ce qu'il faut savoir sur le fond topographique des cartes géologiques seront données d'abord ; elles permettront plus loin de tirer le meilleur parti pour la vision dans l'espace des relations entre les tracés des terrains et des accidents géologiques et le relief.

– La carte géologique sera présentée ensuite : c'est en effet un document riche en informations diverses, d'utilisation plus facile si l'on est familiarisé avec la codification des légendes, des couleurs et des indices identifiant les terrains, etc.

– La vision des terrains et des structures dans l'espace est essentielle au géologue. La troisième partie en est une initiation à partir de schémas, d'exemples simples et d'exercices d'applications, qui aideront à acquérir cette vision avant de l'appliquer aux vraies cartes géologiques.

– Cette vision locale des terrains dans l'espace permet de reconnaître à l'échelle de la carte des structures géologiques. Leurs caractères et un inventaire des principales structures géologiques sont donnés dans la quatrième partie.

– À partir de la disposition actuelle des terrains de différents âges et de leurs relations géométriques sur une carte, il est possible de reconstituer la chronologie des événements géologiques qui se sont succédés sur une région. Les méthodes d'observation et de raisonnement permettant d'établir cette chronologie géologique sont données dans la quatrième partie.

– La carte géologique permet de réaliser un document essentiel au géologue, la coupe géologique. Elle permet

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

de visualiser la disposition des terrains et leur structure en profondeur, dans un plan vertical. La sixième partie du livre donne la méthode pratique de construction graphique du profil topographique et de la coupe géologique.

– La dernière partie du livre montre l'application concrète des notions présentées à des exemples réels de cartes géologiques choisies en France. Sur chaque extrait de carte choisi pour illustrer des structures typiques (failles, plis, chevauchements, chronologie…) dans différents types de terrains est réalisée une coupe d'après les seules données de la carte. Un petit commentaire aide à tirer parti des points essentiels de la carte et de la coupe.

Cet ouvrage n'est qu'une initiation. Pour progresser, il y a bien sûr la pratique de l'étude des cartes et la réalisation de coupes. Mais il y a aussi le terrain : soit par les stages de cartographie géologique, essentiels dans la formation des étudiants géologues et de ceux qui se destinent à enseigner les sciences de la vie et de la Terre. Soit en se procurant auprès des enseignants, d'une bibliothèque, ou en librairie, la carte géologique de la région où l'on vit ou part en voyage ou en vacances.

Comme un morceau de musique, un paysage ne perd pas en beauté ni en poésie si l'on comprend comment il est composé !

# LA CARTE TOPOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1

## 1.1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Sur une carte géologique détaillée, les limites des formations géologiques, les failles qui décalent les terrains et les autres éléments géologiques sont représentés en surimpression sur un **fond topographique**, qui permet de localiser les données géologiques dans le paysage de la région. Le fond topographique d'une carte géologique est basé sur une **carte topographique**, un peu simplifiée pour ne pas être trop chargée, tout en permettant de bien se localiser géographiquement et de reconnaître le relief de la région. La précision d'une carte géologique dépend en partie de celle des cartes topographiques que l'on utilise lors des levés sur le terrain. En France, les cartes topographiques réalisées par l'IGN (Institut Géographique National) sont très précises et détaillées. Toutefois dans certains pays où les affleurements sont rares et les cartes topographiques imprécises, la réalisation de cartes géologiques détaillées n'est pas chose aisée : les imprécisions lors du levé des cartes se répercutent dans leur utilisation ultérieure, notamment pour la réalisation de coupes géologiques précises.

### a) La projection cartographique

Une carte topographique est la projection sur un plan horizontal, celui d'une feuille de papier, d'une partie de la surface du globe terrestre. Nous ne détaillerons pas ici les nombreux types de projection qui ont été élaborés pour les divers types de cartes, de la petite région à la Terre entière. Aucun n'est sans défaut, et son choix dépend surtout de la surface couverte par la carte et de l'usage de celle-ci. Ainsi, chacun a remarqué que les planisphères, qui couvrent l'ensemble du globe avec un réseau de méridiens (nord-sud) et de parallèles (est-ouest) orthogonaux présentent de fortes distorsions près des pôles, attribuant par exemple des surfaces démesurées au Groenland et à l'Antarctique.

Les petites surfaces des cartes géologiques de la France à l'échelle du 1/50 000 (un cinquante millième), qui couvrent environ 29 km sur 20, ne présentent pas de distorsion visible, et deux cartes voisines peuvent se juxtaposer sans décalage. La projection utilisée pour ces cartes et les cartes topographiques au 1/25 000 de l'IGN est de type **Lambert conique conforme**. Nous reviendrons sur ce qu'est l'échelle d'une carte.

Cette première opération de la cartographie, qui transforme par une projection accompagnée parfois de modifications mathématiques les points de la surface terrestre (quasi-sphérique) définis par leur latitude (nord-sud) et leur longitude (est-ouest) en points sur la carte (plane), s'appelle la **planimétrie**. La seconde opération, l'**orographie**, est la représentation sur la carte de l'altitude de ces points, c'est-à-dire du relief, ou **topographie**.

Pour que la géologie soit plus lisible, nous verrons plus loin comment le fond topographique est simplifié sur les cartes géologiques. Disons d'abord quelques mots des cartes topographiques détaillées (au 1/25 000 par exemple) qui constituent de bons fonds topographiques pour faire des levers géologiques.

#### *La géodésie*

La **géodésie** consiste à repérer très précisément les uns par rapport aux autres des points de la surface terrestre matérialisés sur le terrain (**points géodésiques**). Les angles et les distances entre ces points, disposés en un réseau de triangles, sont mesurés optiquement avec une précision de l'ordre du centimètre pour dix kilomètres : cette opération, la **planimétrie**, est réalisée par **triangulation**.

L'altitude de ces points est établie au centimètre près par des mesures de **nivellement**. En France, les altitudes sont calées par rapport au niveau de la mer, et ce niveau zéro de référence est défini à Marseille.

#### *Réalisation de la carte topographique*

Les cartes topographiques ne sont plus réalisées par des observations sur le terrain, longues et coûteuses. Elles sont réalisées à partir de photographies aériennes verticales prises par les avions de l'IGN, par un procédé dit de **restitution**. L'appareil survole le secteur de la mission en faisant des allers-retours selon des bandes Est-Ouest. Deux photos successives se recouvrent de près des deux tiers, ce qui permet d'observer le relief par **stéréoscopie**. Un appareil optique, le **restituteur**, permet de repérer sur les photos des points de même altitude et ainsi de tracer les courbes de niveau.

Ce qui ne peut être observé sur les photos (chemins en forêt, positions de sources) ni de nature bien déterminée (maison ou bergerie, nature des routes…) est ensuite précisé par des missions complémentaires sur le terrain, avant l'achèvement et l'impression de la carte topographique.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

## b) Principaux éléments représentés sur les cartes topographiques

### *La planimétrie*

Les **éléments d'origine humaine**, agglomérations, constructions, voies de communication, lignes électriques, etc. sont représentés en noir. La couleur des routes, jaune ou rouge, dépend de leur importance. La largeur des routes est exagérée car elles ne seraient pas visibles représentées à l'échelle. La **toponymie** (noms de lieux) est en noir.

L'**hydrographie** : cours d'eau, lacs, sources… est figurée en bleu.

La **végétation** est en vert.

Des **symboles** variés figurent sur les cartes topographiques, signalant des points de repère. Ce sont des constructions (chapelles, mégalithes, bâtiments divers, ruines, points géodésiques, etc.), mais aussi des points naturels tels que sources ou gouffres. La légende des cartes précise la nature de ces symboles.

### *L'orographie*

Le relief est figuré par des **courbes de niveau** de couleur bistre. Nous reviendrons en détail sur ces lignes horizontales, parfois appelées **isohypses** car tous leurs points ont la même altitude. Localement, un chiffre indique l'altitude de certaines courbes de niveau (fig. 1.1).

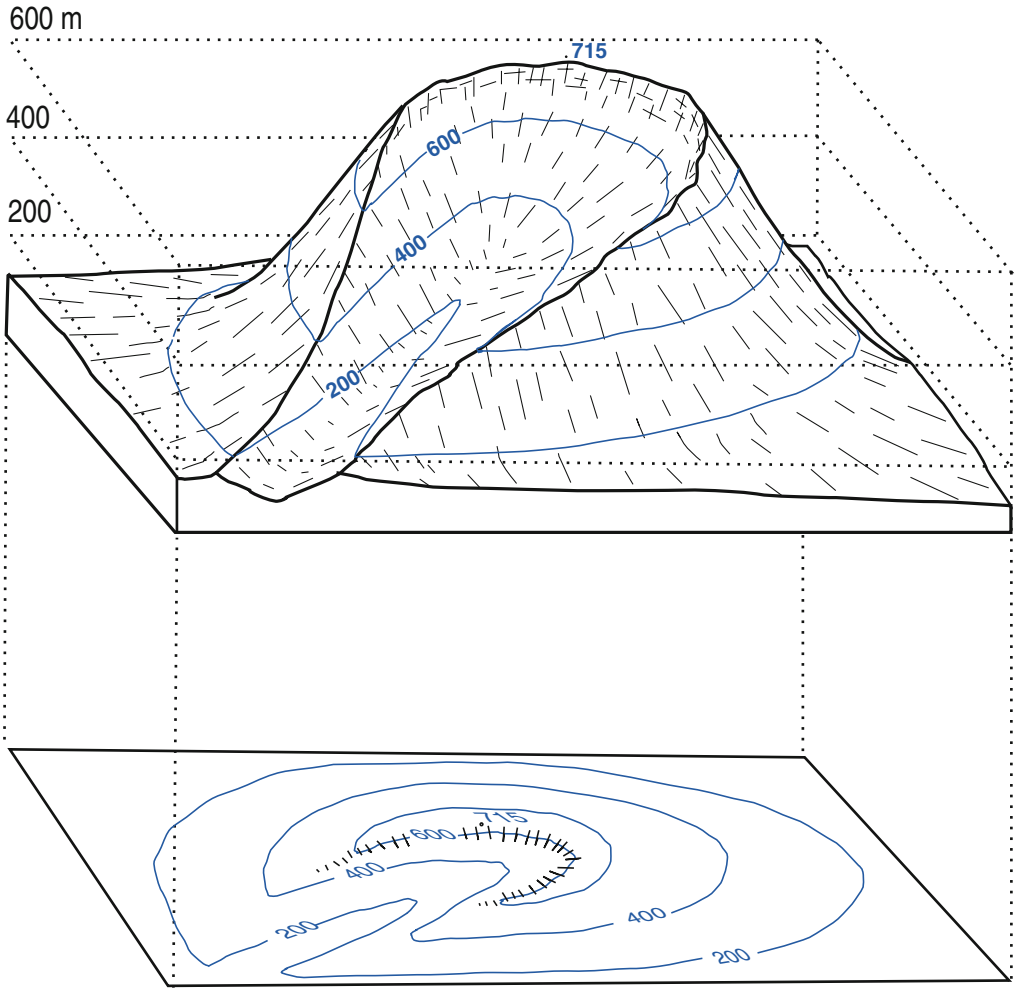



**Figure 1.1** **Les courbes de niveau : sur le volcan égueulé représenté sur le bloc diagramme sont représentées trois lignes horizontales de 200, 400 et 600 mètres d'altitude, correspondant à l'intersection de ce relief par les trois plans de mêmes altitudes. Ces lignes, projetées sur la carte au dessous, constituent des courbes de niveau. La différence d'altitude entre deux courbes, ou équidistance, est de 200 mètres. Le point coté 715 mètres correspond au sommet du volcan.**

Les **points cotés** sont des points remarquables, faciles à trouver dans la nature, dont l'altitude est donnée sur la carte (fig. 1.1). Ce sont souvent des sommets, des croisements de routes, des ponts, etc.

Sur les cartes topographiques, l'impression de relief est accentuée par un ombrage ; il correspond par convention à un éclairement oblique venant du nord-ouest, incidence habituelle d'une lampe de bureau, mais que paradoxalement le soleil ne présente jamais sous nos latitudes.

### c) La simplification du fond topographique pour la carte géologique

Sur les cartes géologiques, chaque formation géologique est représentée par une couleur. Pour ne pas altérer ces couleurs, le fond topographique est simplifié : le vert de la végétation et l'ombrage des reliefs sont supprimés, mais l'hydrographie reste néanmoins figurée en bleu.

Les routes sont en couleur bistre, comme les courbes de niveau. Les agglomérations, les bâtiments et la toponymie sont en brun foncé. Les symboles d'édifices et d'autres points particuliers sont enlevés, mais les points cotés utiles sont conservés.

## 1.2 L'ÉCHELLE D'UNE CARTE

### a) Échelle numérique

L'échelle *e* d'une carte est le rapport entre une distance *d* sur la carte et la distance correspondante réelle *D* sur le terrain :

$$e = d/D$$

Par exemple, si deux points distants de 1 cm sur la carte sont espacés de 500 mètres (50 000 cm) sur le terrain, **e = 1/50 000**. La carte est à l'échelle du **cinquante millième**. C'est l'échelle des cartes géologiques détaillées de la France publiées par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières).

Des échelles de cartes d'usage courant sont par exemple :

– 1/25 000, 1 cm pour 250 mètres, pour les cartes topographiques détaillées (série bleue, Top 25) de l'IGN ;

– 1/100 000, 1 cm pour 1 km, pour les cartes de la série verte de l'IGN ;

– 1/200 000, 1 cm pour 2 km, pour les cartes routières Michelin ;

– 1/1 000 000, 1 cm pour 10 km, pour la carte géologique en une feuille de la France du BRGM.

L'échelle ainsi donnée sous forme d'un rapport de nombres est dite **échelle numérique**.

Contrairement à ce que laisse penser l'expression « travailler à grande échelle », une carte locale, au 1/25 000, est à une échelle plus grande qu'une carte au millionième, bien que celle-ci couvre une plus vaste surface.

Le fond topographique des cartes géologiques détaillées de la France est à l'échelle du 1/50 000. Les cartes topographiques de l'IGN à cette échelle ne sont plus diffusées dans le commerce. Elles sont remplacées par les cartes au 1/25 000 (série bleue, ou Top 25) ; pour des régions plus vastes existent les cartes au 1/100 000 et au 1/250 000.

### b) Échelle graphique

L'échelle d'une carte, d'une coupe, d'une figure, d'un dessin ou autre document peut aussi être donnée sous **forme graphique** : on trace un segment gradué, subdivisé en kilomètres, en hectomètres, ou moins encore pour une figure d'affleurement sur le terrain. *Cette échelle graphique est recommandée pour les coupes géologiques*, car elle visualise immédiatement les dimensions.

En outre, la photocopie, la rétroprojection, la vidéo, la photographie et d'autres techniques permettent d'agrandir ou réduire la taille des documents. L'échelle graphique reste alors exacte, car sa taille est modifiée comme celle du document.

### c) Orientation et localisation

Les bords latéraux de la carte sont parallèles aux méridiens terrestres et indiquent le nord géographique. Le nord magnétique, donné par une boussole, n'en diffère pas de plus de quelques degrés en France.

Sur les bords de la carte figurent les amorces des méridiens (longitude) et des parallèles (latitude) terrestres ; ils sont utiles pour donner la localisation précise d'un point géologique important.

Nous verrons que l'orientation d'une coupe géologique doit être donnée par des lettres placées au-dessus de ses deux extrémités ; cette rose des vents (fig. 1.2) rappelle les lettres des orientations usuelles.

## 1.3 LA REPRÉSENTATION DU RELIEF

### a) Représentation en hachures

Figurer le relief était déjà une préoccupation sur les plus anciennes cartes et mappemondes. Même une esquisse simpliste et inexacte des chaînes de montagnes valait mieux qu'une fausse idée de platitude des pays. Sur la première carte topographique détaillée de la France, la carte d'état-major au 1/80 000, puis sur des cartes au 1/50 000 (fig. 1.3), le relief était représenté par des bandes de petits traits, ou hachures, d'altitude constante. Les hachures étaient d'autant plus courtes et serrées que les pentes sont fortes. Mais cette multitude de traits gravés chargeait beaucoup les cartes et n'était pas de lecture précise. Les hachures furent remplacées par des courbes de niveau, fond plus précis et moins chargé, bien que moins directement expressif.

### b) La représentation du relief en courbes de niveau

Sur les cartes topographiques et sur les cartes géologiques au 1/50 000, le relief est figuré par des courbes de niveau. Une courbe de niveau représente l'intersection du relief par un plan horizontal (fig. 1.1). Tous les points d'une courbe de niveau

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

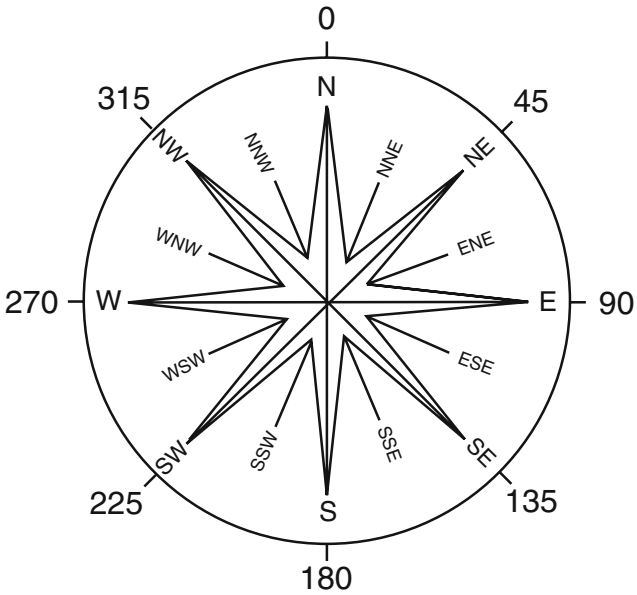



**Figure 1.2 Rose des vents servant à orienter des droites horizontales (limite géologique, faille, axe de pli, trait de coupe). On indique l'orientation des deux extrémités de la ligne : N-S, NNE-SSW.**

ont la même altitude. La différence d'altitude entre deux courbes de niveau normales successives est dite **équidistance**. Elle est de 10 mètres dans les régions de faible relief, et de 20 mètres en montagne. Tous les 50 mètres (ou 100 mètres en montagne) des **courbes maîtresses** sont figurées par un trait plus épais dont l'altitude est indiquée par un chiffre. Dans des paysages plats des **courbes intercalaires**, tous les cinq mètres, peuvent être ajoutées en trait tireté.

### c) Les pentes du relief

La distance horizontale, **écartement** ou **espacement,** entre deux courbes de niveau sur la carte, à ne pas confondre avec l'équidistance (verticale) vue ci-dessus, permet d'apprécier et de calculer la pente du relief ou **pente topographique** : plus les courbes sont espacées, plus il faut parcourir une grande distance pour monter ou descendre de la hauteur d'une équidistance : la pente est faible. Inversement, plus les courbes de niveau sont serrées, plus la pente est forte.

Sur la figure 1.4 (coupe « a »), si $h$ est la différence de hauteur (dénivelée) entre deux points espacés d'une distance $d$ sur la carte (distance horizontale), l'angle $\alpha$ de la pente est donné par :

$$h/d = \text{tg}\ \alpha.$$

Un écartement constant des courbes de niveau indique une pente constante. Le versant est **régulier**. C'est le cas de versants peu érodés de certains volcans constitués de blocs

**Figure 1.3 Extrait de carte topographique en hachure au 1/50 000, feuille Galeria, Corse. Les hachures et les figurés de rochers rendent bien le relief. Mais hormis les rares points cotés, il est difficile de connaître l'altitude précise d'un point de la carte, et donc de réaliser des profils topographiques précis sur ce type de carte.**

et de cendres. Mais la plupart des paysages résultent de l'érosion de terrains variés, et leurs formes sont complexes. Lorsque la pente d'un versant diminue vers le bas, sa forme est dite **concave** (fig. 1.4). Au contraire, si la pente diminue vers le haut, le versant est **convexe**.

Une variation brutale de la pente d'un versant est une **rupture de pente**.

## d) Les formes du relief

### *Les crêtes*

Les crêtes se reconnaissent par des courbes de niveau qui se referment sur elles-mêmes, en formes allongées, entourant un sommet qui peut être marqué par un point coté (fig. 1.1). Sur une crête aiguë (**arête**), les fermetures des courbes de niveau sont pointues, alors que sur les crêtes émoussées ou croupes elles sont arrondies. Une crête dont les deux versants ont des pentes différentes, marquées par des espacements différents des courbes de niveau, est dite *dissymétrique* : sur la figure 1.5, le trait de coupe traverse deux crêtes assez aiguës et légèrement dissymétriques.

La figure 1.6 représente une montagne très dissymétrique : son sommet est doux, aplani, son versant sud-ouest est convexe avec des ruptures de pente (variations d'espacement des courbes de niveau). Ses versants nord et est sont concaves (plus raides vers le haut), avec des figurés de rochers indiquant des **corniches sommitales** rocheuses.

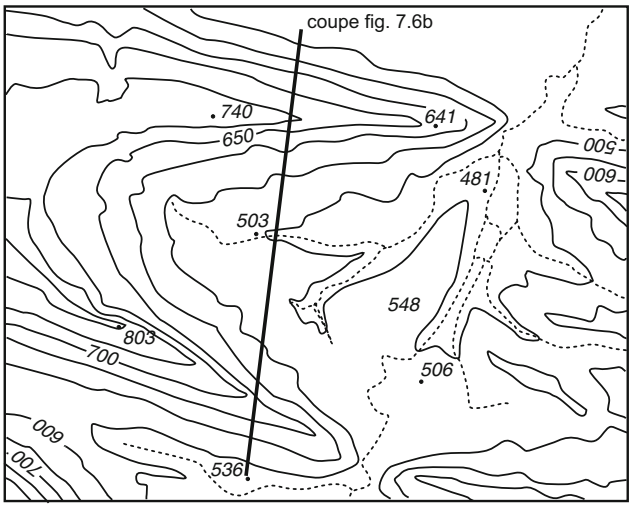



**Figure 1.5** **Carte simple en courbes de niveau, avec réseau hydrographique en tiretés, et crêtes dissymétriques assez aiguës.**

### *Les vallées*

Même si aucun cours d'eau n'y est figuré, une vallée se reconnaît par la fermeture des courbes de niveau à l'amont seulement (fig. 1.5 et 1.6). Comme pour les crêtes, la forme de la fermeture des courbes de niveau reflète celle de la vallée : une fermeture en V indique une vallée incisée ; une fermeture en U peut correspondre à un creusement de la vallée par un glacier, ou au colmatage du fond de la vallée par des alluvions.

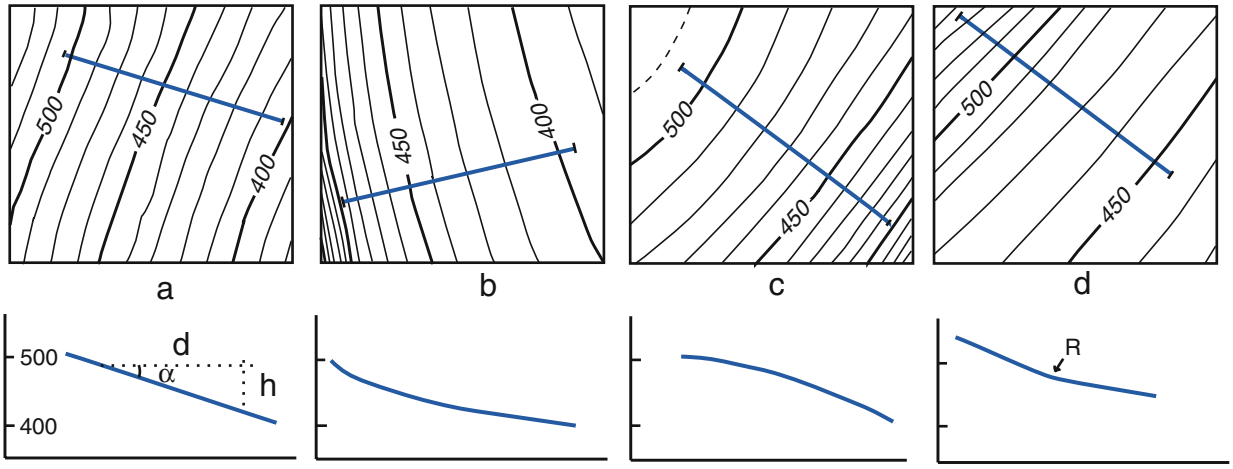



**Figure 1.4** **L'espacement des courbes de niveau révèle les pentes et les formes des versants : a) espacement constant, pente constante dont on peut calculer l'angle α ; b) espacement croissant vers le bas : versant concave ; c) espacement décroissant vers le bas : versant convexe. d) changement rapide d'espacement : rupture de pente (R).**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

### *Les falaises*

Les abrupts, falaises et parois rocheuses à pente forte sont marqués par des figurés de rochers (fig. 1.3 et 1.6). Les courbes de niveau n'y sont pas tracées, car elles seraient superposées ou trop serrées. Pour connaître la hauteur d'une paroi, on fait la différence d'altitude des courbes de niveau passant en haut et au pied de la paroi. Le **regard** d'une paroi est la direction géographique vers laquelle elle fait face : sur la figure 1.6, les parois regardent vers l'est et le nord.

### *Les cuvettes*

Certains paysages glaciaires ou de pays calcaire peuvent présenter des **cuvettes**. Pour ne pas les confondre avec des collines, les courbes de niveau sont tracées en tireté et une flèche est dirigée vers le fond de la cuvette.

**Figure 1.6 Aspect de formes de relief sur une carte en courbes de niveau (Montagne d'Angèle, Drôme). On y note : le figuré des falaises et parois rocheuses ; un sommet plat (courbes espacées) ; la concavité des versants nord et est ; les pointes en V des courbes de niveau vers l'amont des vallons.**

# LA CARTE GÉOLOGIQUE

CHAPITRE 2

Ce chapitre vise à présenter le document particulier qu'est la carte géologique, à expliquer la signification de sa légende, des signes, des tracés, pour familiariser le lecteur et lui permettre d'en tirer le meilleur parti. Les explications concerneront :

– la signification des **tracés** géologiques, et des **signes et symboles** qui donnent des indications complémentaires, comme les **signes de pendage** ;

– la **légende** de la carte, notamment les **cartouches colorés** figurant sur ses côtés, identifiés par des **indices** de lettres et de chiffres. Ils informent sur l'âge et la nature des ensembles cartographiés ;

– la **notice explicative** qui accompagne la carte. Elle ajoute sur la géologie de la région des **informations complémentaires** qui ne peuvent être figurées sur la carte.

## 2.1 LE CADRE DE LA CARTE

Le cadre de la carte fait environ 60 cm de large sur 40 de haut, ce qui couvre à l'échelle du 1/50 000 une surface de l'ordre de 600 km$^2$. Le cadre présente différentes graduations (en degrés ou en grades), de **longitude (méridiens)** et de **latitude (parallèles)**, dont certains sont tracés sur la carte. Ces repères permettent de resituer un point sur une carte à une autre échelle, ou de préciser par leurs coordonnées l'emplacement de points remarquables afin de pouvoir les retrouver : affleurement, gîte fossilifère ayant permis de dater des terrains, etc.

Des tirets espacés de 2 cm et associés à un chiffre déterminent le carroyage kilométrique de la projection Lambert.

Aux coins de la carte sont précisés son type de projection, l'origine du fond topographique, l'équidistance des courbes de niveau, et d'autres renseignements.

En haut à gauche de la carte sont mentionnés les noms des géologues ayant levé, coordonné et dessiné la carte (les limites de leur secteur d'étude sont parfois précisées dans un petit cartouche), celui du directeur du Service de la carte géologique, et la date de publication de la carte.

Sous la carte figure une échelle graphique des distances.

## 2.2 DANS LES MARGES DE LA CARTE

Les marges d'une carte contiennent les informations indispensables à sa compréhension, comme la **légende des terrains**. Parfois, selon les cartes, s'y ajoutent d'autres informations utiles : schéma structural, coupe…

### a) La légende des terrains des cartes au 1/50 000

Sur le bord gauche de la carte, et aussi à droite si les terrains distingués sont nombreux, figurent des **cartouches** : ce sont des rectangles colorés, qui contiennent un **indice** de lettres et de chiffres. Chaque cartouche correspond à un terrain dont l'âge et parfois la nature sont notés sous le cartouche.

#### *Les cartouches colorés*

Les cartouches du bas de la colonne concernent les terrains plutoniques et métamorphiques du socle cristallophyllien, les roches volcaniques et filoniennes. Le haut de la colonne est consacré aux terrains sédimentaires, rangés des plus anciens en bas aux plus récents en haut.

La cartographie internationale tend à normaliser les couleurs en fonction de l'âge des terrains : bleu pour le Jurassique, vert pour le Crétacé… Ceci peut facilement être respecté sur les cartes à petite échelle, comme le millionième de la France, car les subdivisions stratigraphiques sont de longue durée et peu nombreuses.

Sur une carte au 1/50 000, il peut y avoir des subdivisions bien plus détaillées, à l'intérieur du Crétacé ou de l'Éocène, par exemple. Cette règle ne peut alors être respectée, même sur les cartes les plus récentes. Signalons aussi que des cartes contiguës peuvent avoir des couleurs différentes pour des terrains de même âge, ce qui est gênant pour faire des assemblages de cartes.

#### *Les indices des cartouches*

5 à 10 % des personnes présentent un défaut de vision des couleurs qui rend difficile de rapporter la couleur d'un secteur de la carte à un cartouche de la légende. L'**indice alphanumérique** de chaque cartouche reporté sur les secteurs colorés de la carte y remédie.

Mais l'intérêt principal des indices est de donner sur la carte l'âge et parfois la nature des terrains. Pour les cartes au 1/50 000, voici les règles de signification des lettres et des chiffres des indices.

➢ **Les indices des terrains sédimentaires**

Sur le terrain, le géologue qui lève une carte reconnaît et distingue tout d'abord les terrains qu'il cartographie, les **formations**, par leur **nature (lithologie)** et leur faciès : calcaires massifs, grès fins, etc. En observant leur ordre de superposition, il détermine une **lithostratigraphie**, chronologie relative des formations des plus anciennes aux plus récentes.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

La collecte de **fossiles**, déterminés par des paléontologistes, permet de dater plus ou moins précisément ces terrains dans le temps et de les placer dans une **échelle stratigraphique** subdivisée en grandes ères et périodes, puis systèmes, sous systèmes et étages (voir le tableau), qui sont représentés par les cartouches et leurs indices dans la légende de la carte. Dans les dernières décennies, le développement des méthodes de **datation radiométrique** (ou **radiochronologie**, ou encore **géochronologie**) telles la méthode K/Ar (Potassium/Argon) ainsi que du **paléomagnétisme** ont permis une connaissance de plus en plus fine de l'âge dit « absolu », en millions d'années (Ma) de ces étages stratigraphiques pour les terrains sédimentaires, et de déterminer l'âge des roches intrusives, volcaniques ou métamorphiques dépourvues de fossiles.

Pour les terrains sédimentaires plus anciens que l'ère quaternaire, la **lettre** de l'indice du cartouche correspond à un **système** ou un **sous-système** chronostratigraphique, relativement long, subdivisé lui-même en étages (voir tableau). Par exemple :

– *k* pour le système Cambrien ;

– *t* pour le système Trias ;

– *j* pour les sous-systèmes Jurassique moyen et Jurassique supérieur ;

– *n* pour le sous-système Crétacé inférieur, et *c* pour le Crétacé supérieur.

Une série attribuée sans plus de précision au cambro-ordovicien sera notée *k-o*.

Le **chiffre** de l'indice précise l'attribution du terrain à un étage du système ou sous-système. L'étage le plus ancien a le chiffre 1. *n*1, le Berriasien, est l'étage le plus ancien du Crétacé inférieur, et *n*6, l'Albien, le plus récent.

Une subdivision dans un étage utilise à nouveau des lettres ; *a* est le terme le plus ancien. Ainsi, *n*3a et *n*3b sont respectivement l'Hauterivien inférieur et supérieur.

Inversement, *n2-3a* indique que le Valanginien et l'Hauterivien inférieur sont regroupés, ou **indifférenciés**, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent être distingués sur le terrain.

Par des **lettres majuscules en italique**, les indices peuvent aussi refléter la lithologie (nature de la roche) d'une formation : j8*D* représente des dolomies du Kimméridgien (Jurassique supérieur).

L'échelle stratigraphique ne cesse d'être améliorée, et des changements ont eu lieu depuis le lever des premières cartes au 1/50 000. Le tableau donne les notations stratigraphiques recommandées aujourd'hui par le BRGM pour l'établissement des nouvelles cartes au 1/50 000 de la France. Elle présente quelques nouveaux noms d'étages. À l'inverse, certains noms d'étages marins ou continentaux de cartes déjà publiées n'y figurent plus ; nous les avons donc rappelés dans la colonne de droite.

### ➢ Les indices des formations superficielles récentes

Les formations superficielles récentes qui masquent parfois les terrains anciens sont surtout d'âge quaternaire. Dans cette brève période de temps (1,6 Ma seulement), elles sont souvent difficiles à dater précisément. Leurs indices utilisent des **lettres majuscules**, qui correspondent au **type de formation et à son mode de dépôt** :

– ***F*** indique des **alluvions** déposées par les cours d'eau. Si l'on peut en distinguer chronologiquement plusieurs unités, comme dans le cas de terrasses alluviales étagées, *la plus jeune (la plus basse) a comme indice la dernière lettre de l'alphabet*. Des plus récentes aux plus anciennes, les alluvions sont donc notées *Fz*, *Fy*, *Fx*, *Fw*, même si leur âge stratigraphique réel est mal connu ;

– ***G*** représente des **formations glaciaires** (moraines, alluvions glaciaires…) qui ne se sont formées en France qu'au Quaternaire. Elles sont indexées comme les alluvions selon leur âge relatif : G*z*,…, G*v*, du récent vers l'ancien ;

– ***J*** indique des **cônes de déjection**, alluvions grossières étalées en forme d'éventail au débouché des torrents, indexés comme les alluvions et dépôts glaciaires ;

– ***E*** marque des **éboulis**, dont la nature variée est parfois distinguée : nappes ou tabliers de versants de cailloutis anguleux et blocs sur les pentes au pied de parois et versants raides de roches dures, écroulements catastrophiques au pied de parois, glissements de terrain superficiels ou en masse de formations argileuses, etc. Ils peuvent aussi être indexés.

Le plus souvent, ces formations peu épaisses ne peuvent être figurées sur les coupes géologiques. Elles peuvent compliquer la lecture des cartes où elles sont largement étendues, masquant les terrains anciens, leurs limites stratigraphiques ou tectoniques, et gêner la compréhension des structures qu'elles cachent.

Le choix de cartographier ou non des formations superficielles peu épaisses est délicat. La surface qu'elles couvrent sur une carte dépend bien sûr de leur abondance dans la région. Mais en comparant deux cartes voisines, on note aussi des différences attribuables aux choix des géologues qui ont levé les cartes.

### ➢ Les indices des roches volcaniques

Les indices des roches volcaniques (ou effusives) sont des lettres grecques correspondant à leur nature pétrographique, par exemple :
$\beta$ (bêta) = basalte ; $\rho$ (rhô) = rhyolite ; $\alpha$ (alpha) = andésite ; $\tau$ (tau) = trachyte… L'ajout de petites lettres et la légende des cartouches permettent de distinguer des basaltes intrusifs ($\beta_i$) pour des necks (cheminées) ou des dykes (filons), ou des nappes de tufs ($\alpha_t$) en surface. L'âge des roches est indiqué dans la légende ; si des âges radiochronologiques sont connus, ils sont donnés dans la notice de la carte.

### ➢ Les indices des roches plutoniques

Les roches plutoniques, intrusives, ou de fond océanique (ophiolites), sont indexées aussi par des lettres grecques : $\gamma$ (gamma), $\eta$ (êta) et $\theta$ (thêta) pour les granites, les diorites

et les gabbros respectivement. Différents types de granites et leurs âges peuvent être distingués dans la légende et la notice.

➢ **Les indices des roches métamorphiques**

Signalons seulement les plus fréquents, les micaschistes et les gneiss, notés $\xi$ (ksi) et $\zeta$ (dzêta).

➢ **Autres terrains**

Des couleurs, des trames ou des figurés particuliers peuvent signaler des zones de broyage tectonique (brèches, mylonites), des filons, etc. Pour que des filons soient visibles sur la carte, leur épaisseur y est très exagérée par rapport à la réalité.

### b) Les indices des cartes au 1/80 000

Bien qu'elles ne soient plus éditées, les cartes au 1/80 000 sont encore utilisées, avec des règles d'indexation des terrains un peu différentes des cartes au 1/50 000.

Quelques lettres de systèmes et sous-systèmes varient, mais la légende des cartes les précise. Par contre, voici les règles particulières d'indexation chronologique dans un système, par exemple le Crétacé, **C** :

– les **étages inférieurs** ont des **indices en chiffres romains**, décroissants du plus ancien au plus récent, comme CIII, CII, CI, que l'on lit : C tierce, C seconde, C prime. Chaque étage peut être subdivisé par des lettres minuscules, en indice aussi : du plus ancien au plus récent : CIc, CIb, CIa, que l'on lit C prime c…

– les **étages supérieurs** ont des **exposants en chiffres arabes**, croissants du plus ancien au plus récent : C1, C2, C3. Chacun peut être subdivisé par des lettres en indice, du plus ancien au plus récent : Ca2, Cb2, Cc2.

Lorsque des terrains sont regroupés, l'indexation va des plus récents aux plus anciens : C1-CII, ou C3-1.

### c) Les tracés géologiques

*Les contours géologiques sont tracés en traits fins*, parfois tiretés en cas d'incertitude. Ce sont tous les types de limites, sauf les contacts tectoniques : limites concordantes, discordantes, de formations superficielles, de terrains volcaniques, d'intrusions, de filons, etc.

*Les limites tectoniques, ou accidents tectoniques, sont figurés en trait épais* : ce sont les différents types de failles et les chevauchements. Lorsqu'elles sont certaines et visibles en surface, le trait est continu. Lorsqu'elles sont certaines mais masquées par des éboulis ou d'autres formations superficielles, le trait est en tiretés dans les formations superficielles. Attention, cela ne signifie pas que ces dernières sont peut-être affectées par la faille. En l'absence de formations superficielles, une faille tracée en tiretés signifie qu'elle est incertaine.

Pour chaque carte, il est conseillé de vérifier dans la légende des tracés ce que signifie un contact tectonique en tireté.

### d) Les signes de pendage et autres signes tectoniques

Les signes de pendage des terrains sédimentaires ne sont pas identiques sur toutes les cartes au 1/50 000 : la figure 2.1 montre les signes de pendage les plus fréquents. La forme est toujours celle d'un T ; la **direction de la barre supérieure par rapport au nord est la direction mesurée des couches** sur le terrain (direction de l'horizontale des couches, voir chap. 3). La barre verticale du T, perpendiculaire, indique donc la ligne de plus grande pente des couches, ou direction du pendage, sa pointe étant dirigée vers le bas.

Sur bien des cartes, la valeur de l'angle de pendage n'est pas indiquée à côté du signe, ou encore les signes de pendage sont trop rares. C'est regrettable pour la précision dans les utilisations pratiques de ces documents. Pour réaliser des coupes, nous verrons qu'il faut alors connaître l'épaisseur des terrains et retrouver indirectement leur pendage en fonction de leur largeur d'affleurement (chap. 3 et 6).

Dans un vaste pli ou un monoclinal, un signe de pendage peut être significatif sur une assez grande surface. Par contre, des signes de pendage proches et variés signifient que le secteur est fortement plissé (replis) ; chaque signe de pendage n'a alors qu'une valeur locale.

Il existe un signe de pendage spécial pour les couches renversées (fig. 2.1). Mais attention ! certaines cartes ne l'utilisent pas (voir planche 9.9), et il faut être attentif à l'ordre des terrains pour voir qu'ils sont en série normale ou renversée.

Parmi les signes tectoniques, signalons aussi celui indiquant des replis trop petits pour être visibles par les contours des terrains (fig. 2.1).

D'une façon générale, la signification de tous les signes tectoniques est donnée dans la légende de chaque carte.

### e) La légende technique

La légende technique concerne essentiellement les matériaux utiles : carrières, mines, pierre de taille, sablières et gravières, localisation de forages dont les informations sont parfois données dans la notice. Des indices concernent aussi l'hydrogéologie (sources, résurgences, sources chaudes ou minérales, etc.), et d'autres ressources selon les régions.

Un signe ressemblant à un F indique les gisements fossilifères remarquables qui ont permis de dater les terrains.

### f) Autres informations

Outre la légende indispensable évoquée ci-dessus, certaines cartes offrent des compléments utiles.

#### *Schéma structural*

Dans les régions tectonisées, cette petite carte simplifiée facilite la compréhension de la tectonique de la carte en faisant ressortir les principales structures : axes de plis, failles, chevauchements. Parfois les ensembles tectoniques, ou unités structurales, y sont distingués en couleurs.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

**Tableau 2.1** **Tableau stratigraphique pour l'établissement de la carte géologique de la France au 1/50.000 (BRGM, 1997), modifiés à partir de la charte de l'International Comission of Statigraphy (2004).**

| Âge Ma | Ère | Sys | Série | Étage | | Étage régional ou dénomination antérieure |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,81 | CÉNOZOÏQUE | QUATERNAIRE | | | IV | |
| | | NÉOGÈNE | PLIOCÈNE | Gélasien | p3 | Redonien, Astien, Villafranchien |
| | | | | Plaisancien | p2 | inférieur |
| 5,33 | | | | Zancléen | p1 | Tabianien |
| | | | MIOCÈNE | Messinien | m6 | |
| | | | | Tortonien | m5 | Helvétien |
| | | | | Serravalien | m4 | |
| | | | | Langhien | m3 | Vindobonien |
| | | | | Burdigalien | m2 | |
| 23,03 | | | | Aquitanien | m1 | |
| | | PALÉOGÈNE | OLIGOCÈNE | Chattien | g2 | Stampien |
| 33,9 | | | | Rupélien | g1 | Sannoisien |
| | | | ÉOCÈNE | Priabonien | e7 | Marinésien + Ludien |
| | | | | Bartonien | e6 | Auversien |
| | | | | Lutétien | e5 | |
| 55,8 | | | | Yprésien | e4 | Sparnacien= Ilerdien, Cuisien |
| | | | PALÉOCÈNE | Thanétien | e3 | |
| | | | | Sélandien | e2 | Montien - Vitrolien |
| | | | | Danien | e1 | Garumnien |
| 65,5 | MÉSOZOÏQUE | CRÉTACÉ | CRÉTACÉ SUPÉRIEUR | Maastrichtien | c6 | Bégudien + Rognacien |
| | | | | Campanien | c5 | Valdonien + Fuvélien |
| | | | | Santonien | c4 | |
| | | | | Coniacien | c3 | |
| | | | | Turonien | c2 | |
| 99,6 | | | | Cénomanien | c1 | |
| | | | CRÉTACÉ INFÉRIEUR | Albien | n6 | Vraconien |
| | | | | Aptien | n5 | Bédoulien,Gargasien, |
| | | | | Barrémien | n4 | Clansayésien |
| | | | | Hauterivien | n3 | Urgonien |
| | | | | Valanginien | n2 | Wealdien |
| 145,5 | | | | Berriasien | n1 | Purbeckien |
| | | JURASSIQUE | JURASSIQUE SUPÉRIEUR (MALM) | Tithonien | j7 | Tithonique, Portlandien |
| | | | | Kimméridgien | j6 | Argovien,Rauracien, |
| 161,2 | | | | Oxfordien | j5 | Séquanien |
| | | | JURASSIQUE MOYEN (DOGGER) | Callovien | j4 | |
| | | | | Bathonien | j3 | |
| | | | | Bajocien | j2 | |
| 175,6 | | | | Aalénien | j1 | |
| | | | JURASSIQUE INFÉRIEUR (LIAS) | Toarcien | l4 | |
| | | | | Pliensbachien | l3 | Charmouthien |
| | | | | Sinémurien | l2 | Domérien |
| 199,6 | | | | Hettangien | l1 | Carixien |
| | | TRIAS | SUPÉRIEUR | Rhétien | t7 | Keuper |
| | | | | Norien | t6 | |
| 228,0 | | | | Carnien | t5 | |
| | | | MOYEN | Ladinien | t4 | Muschelkalk |
| 245,0 | | | | Anisien | t3 | |
| 251,0 | | | INFÉRIEUR | Olénékien | t2 | |
| | | | | Induen | t1 | Butsandstein Scytien |

| Âge Ma | Ère | Syst | Série | Étage | | Étage régional ou dénomination antérieure |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 260,4 | PALÉOZOÏQUE | PERMIEN | LOPINGIEN | Changhsingien | r3 | Thuringien |
| | | | | Wuchiapigien | | |
| 268,0 | | | GUADALUPIEN | Capitanien | r2 | Saxonien |
| | | | | Wordien | | |
| | | | | Roanien | | |
| 299 | | | CISURALIEN | Kungurien | r1 | Autunien |
| | | | | Artinskien | | |
| | | | | Sakmarien | | |
| | | | | Asselien | | |
| 318,1 | | CARBONIFÈRE | PENSYLVANIEN | Gzélien | h5 | Stéphanien |
| | | | | Kasimovien | | |
| | | | | Moscovien | h4 | Westphalien |
| | | | | Bashkirien | | Namurien |
| 359,2 | | | MISSISSIPIEN | Serpukhovien | h3 | |
| | | | | Viséen | h2 | Dinantien |
| | | | | Tournaisien | h1 | |
| 385,3 | | DÉVONIEN | SUPÉRIEUR | Famennien | d7 | |
| | | | | Frasnien | d6 | |
| 397,5 | | | MOYEN | Givétien | d5 | |
| | | | | Eifélien | d4 | Couvinien |
| 416,0 | | | INFÉRIEUR | Emsien | d3 | |
| | | | | Praguien | d2 | Siegénien |
| | | | | Lochkovien | d1 | Gédinien |
| 422,9 | | SILURIEN | PRIDOLI | | s4 | |
| | | | LUDLOW | Lufordien | s3 | |
| | | | | Gorstien | | |
| 428,2 | | | WENLOCK | Homérien | s2 | |
| | | | | Sheinwoodien | | |
| 443,7 | | | LLANDOVERY | Télychien | s1 | |
| | | | | Aéronien | | |
| | | | | Rhuddanien | | |
| 460,9 | | ORDOVICIEN | SUPÉRIEUR | Hirmantien | o6 | Ashgill |
| | | | | | o5 | Caradoc |
| 471,8 | | | MOYEN | Darriwilien | o4 | Llandeilo |
| | | | | | o3 | Llanvin |
| 488,3 | | | INFÉRIEUR | Trémadocien | o2 | Arenig |
| | | | | | o1 | Trémadoc |
| 501,0 | | CAMBRIEN | SUPÉRIEUR | Paibien | k5 | Postdamien |
| 513,0 | | | MOYEN | | k4 | Acadien |
| 542,0 | | | INFÉRIEUR | Géorgien | k3 | Lénien |
| | | | | | k2 | Atdabanien |
| | | | | | k1 | Tommotien |

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

| EON | Ère | Système | Âge Ma |
|---|---|---|---|
| PROTÉROZOÏQUE | Néoprotérozoïque | Édiacarien | 630 |
| | | Cryogénien | 850 |
| | | Tonien | 1000 |
| | Mésoprotérozoïque | Sténien | 1200 |
| | | Ectasien | 1400 |
| | | Calymmien | 1600 |
| | Paléoprotérozoïque | Stathérien | 1800 |
| | | Orosirien | 2050 |
| | | Rhyacien | 2300 |
| | | Sidérien | 2500 |
| ARCHÉEN | Néoarchéen | | 2800 |
| | Mésoarchéen | | 3200 |
| | Paléoarchéen | | 3600 |
| | Éoarchéen | | |

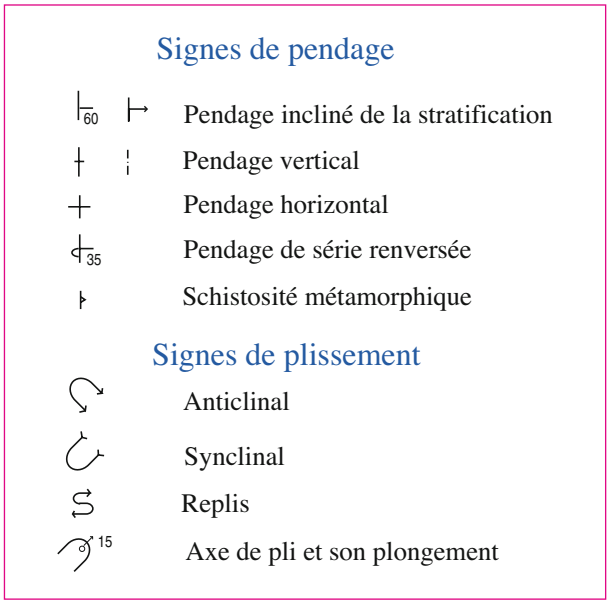



**Figure 2.1** **Les principaux signes tectoniques des cartes géologiques.**

### *Coupe géologique générale*

Pour le plus grand bonheur des étudiants, une coupe peut figurer au bas de certaines cartes. Elle a pour but de donner immédiatement au lecteur une idée générale des structures, mais au voisinage du trait de coupe seulement.

### *Colonne lithostratigraphique*

Parfois, une colonne lithostratigraphique représente la série des terrains, avec leur âge, leur épaisseur moyenne, leur lithologie indiquée par des figurés. Pour réaliser une coupe, cette colonne évite d'avoir à rechercher ces données dans la notice de la carte. Si la région présente deux domaines paléogéographiques avec des variations latérales d'épaisseur et de faciès des sédiments, deux colonnes peuvent être données, avec des traits de corrélation des étages entre elles. En fonction du ou des domaines traversés par la coupe, il faut prendre en compte l'une, l'autre, ou les deux colonnes.

### *Forages*

Dans certaines régions tabulaires n'affleurent sur la carte qu'un ou quelques terrains. Pour informer sur les terrains plus profonds, des colonnes obtenues par des forages peuvent figurer sur le bord de la carte ou dans sa notice.

## 2.3 La notice des cartes

Les cartes géologiques au 1/50 000 et au 1/80 000 sont accompagnées d'un livret appelé notice, qui donne des informations souvent essentielles ne pouvant être figurées graphiquement sur la carte. Il s'agit de données collectées lors du lever de la carte, bibliographiques, de résultats d'études de laboratoire (paléontologie, minéralogie des roches, géochronologie, géochimie…) liées au lever de la carte ou de données d'autres travaux portant sur la région : forages, mines, hydrogéologie…

Les notices, d'une dizaine de pages pour les cartes relativement anciennes, peuvent atteindre 150 pages pour

certaines cartes récentes. Les principaux renseignements fournis par les notices concernent les domaines suivants :

### a) Présentation générale de la région

Orientée vers la géographique physique, cette partie décrit surtout les paysages de la région et son réseau hydrographique, et leurs liens avec la géologie régionale.

### b) Nature, âge et épaisseurs des terrains

Cette partie de la notice est essentielle à la compréhension de la carte, et indispensable à la réalisation des coupes géologiques et des commentaires de cartes. Là sont décrits les terrains, *leurs épaisseurs, nécessaires pour construire les coupes géologiques, leurs faciès qui permettront de choisir les figurés dans les coupes*.

C'est aussi dans cette partie aussi que l'on trouve les données paléontologiques (faunes et flores fossiles) qui ont permis de déterminer l'âge (stratigraphie) des terrains sédimentaires (étages des cartouches de la légende).

Pour les roches plutoniques, volcaniques et métamorphiques, leur nature est déterminée à partir de leur minéralogie en lames minces, d'analyses chimiques, et leurs âges établis par les méthodes radiochronologiques.

### c) Évolution paléogéographique et tectonique régionale

Une partie de la notice synthétise les données sédimentologiques et stratigraphiques pour reconstituer l'évolution paléogéographique régionale de l'ancien vers l'actuel : changements d'environnement (marin, continental), transgressions, régressions, émersions, discordances.

Dans les régions déformées, une partie décrit les structures tectoniques, la mise en évidence des phases tectoniques et de leurs caractéristiques : âge, nature (compression, extension) et direction des contraintes…

### d) Ressources diverses

Enfin, la notice concerne la géologie appliquée. Elle traite des matériaux utiles : minerais divers, charbon, pétrole, pierre de taille, granulats, sables et graviers, hydrogéologie…

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

# Relations entre topographie et géologie

CHAPITRE 3

## 3.1 Introduction

Les cartes géologiques représentent, en projection sur un plan horizontal, la disposition des formations géologiques visibles **à la surface du sol**. Il peut s'agir de formations sédimentaires stratifiées, de séries volcaniques, de masses plutoniques ou bien encore d'ensembles métamorphiques. Ces formations géologiques ont souvent été déformées au cours de leur histoire et se trouvent basculées, plissées ou recoupées par des failles. Ces informations figurent également sur la carte.

Si on sait interpréter les informations visibles à la surface du sol et transcrites sur les cartes géologiques il est alors possible de reconstituer d'une manière assez fiable l'organisation en profondeur des formations géologiques de la partie supérieure (quelques centaines de mètres à quelques kilomètres) de la croûte terrestre.

L'interprétation des cartes géologiques consiste, pour une grande part, à concevoir une image mentale en 3D du substratum d'une région à partir de son image perçue en 2D qui est la carte.

La carte géologique représente souvent des objets de formes assez simples qui obéissent à des règles également simples de géométrie dans l'espace, qu'il est nécessaire de rappeler. Pour simplifier, nous réduirons dans un premier temps, les structures géologiques à des surfaces planes. Par la suite, nous nuancerons cette approximation pour aboutir à des représentations à géométrie plus réaliste mais plus complexe.

## 3.2 Orientation d'une surface géologique plane

Quelle que soit sa nature (limite de couche, plan de faille, schistosité…) une surface géologique plane (S) peut avoir une position quelconque dans l'espace : horizontale, inclinée ou verticale. Elle est repérée dans l'espace par une droite ou *direction* et un angle ou *pendage* :

– la **direction (D)** du plan (S) est une droite horizontale de ce plan ; elle est repérée par rapport au Nord et définie par un angle $\delta$ ou *azimut* de D. Classiquement cet angle $\delta$ est mesuré depuis le Nord, en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. Les mesures étant faites à l'aide d'une boussole, c'est donc par rapport au nord magnétique (N mg) qu'est donnée cette mesure (fig. 3.1-a). Pour se référer au Nord géographique (Nord des cartes) il convient de faire une correction de la valeur de la *déclinaison* au lieu et à l'époque de la mesure ; la déclinaison est l'angle entre la direction du Nord magnétique, variable au cours du temps, et la direction du Nord géographique, qui est fixe ;

– le **pendage** ($\alpha$) est l'angle que fait cette surface par rapport à un plan horizontal H (surface de référence). Mesuré avec un clinomètre (système simple incorporé à la boussole et repérant la verticale Z du lieu), le pendage est donné en degrés ; sa valeur varie de 0° (pendage nul - plan horizontal) à 90° (plan vertical) (fig. 3.1-b). Outre la valeur angulaire $\alpha$ du

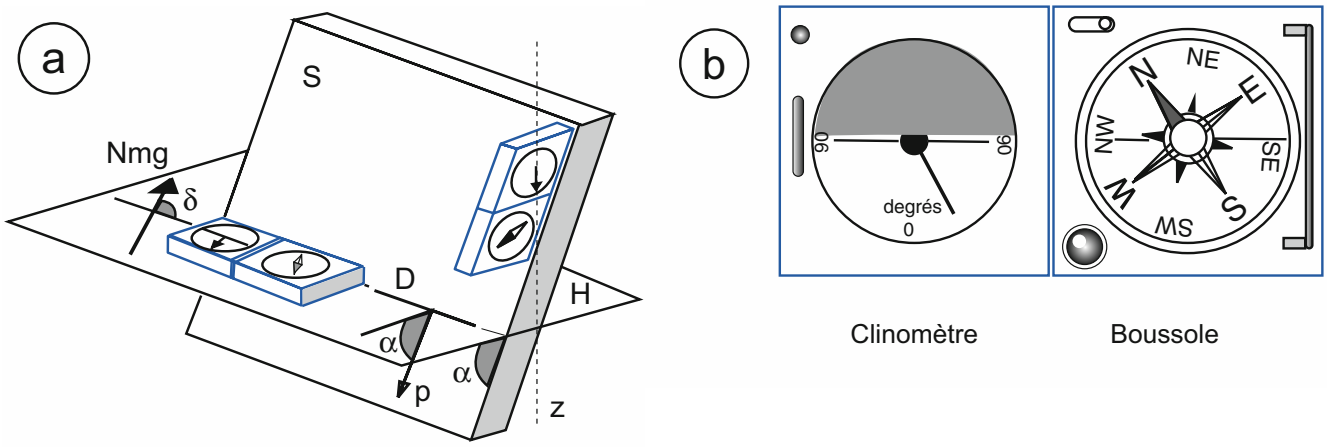



**Figure 3.1** **a) Mesure de l'orientation (direction et pendage) d'une surface plane S à l'aide d'une boussole. b) Clinomètre et boussole.**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

pendage on définit le sens du pendage, qui peut être figuré par la ligne de plus grande pente (p) du plan (fig. 3.1-a). Le sens du pendage est indiqué par des lettres N, S, E, W, par références aux repères géographiques cardinaux Nord (N), Sud (S), Est (E), Ouest (W). Dans l'exemple de la figure 3.1-a, le plan S, d'azimut δ (N120°) a un pendage de α° (environ 70°) au SW ; l'orientation du plan est alors notée : N120-70° SW.

### *Représentation symbolique de l'orientation d'une surface plane*

Un signe en forme de **T** est utilisé sur les cartes géologiques pour indiquer l'orientation d'une surface à l'endroit où elle a été mesurée (fig. 3.2). La barre horizontale du T représente la direction (D) et la barre verticale le sens du pendage (ou ligne de plus grande pente p). Le symbole en forme de T est orienté sur la carte, conformément aux mesures de terrain. La valeur α du pendage est généralement indiquée (ou devrait l'être) près du symbole. Des symboles spécifiques indiquent un pendage nul (+) ou un pendage vertical (–.–).

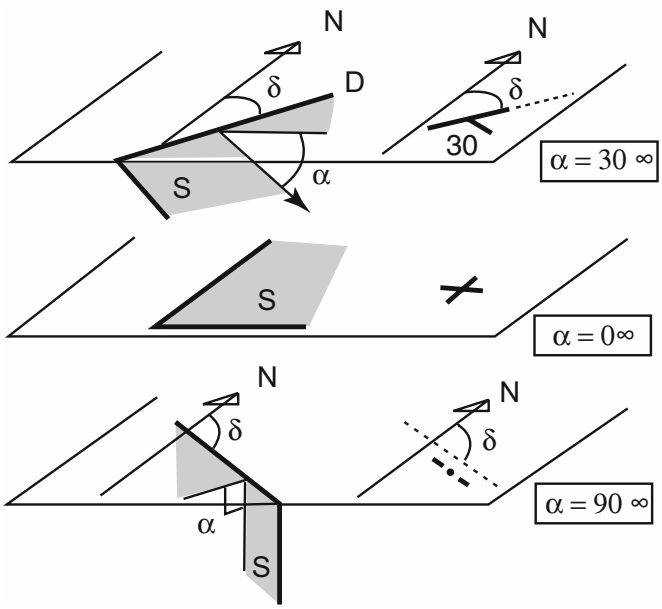



**Figure 3.2 Représentation symbolique de l'orientation d'une surface plane S (couche géologique).**

## 3.3 Relations géométriques entre une surface géologique et la surface topographique

La ligne d'intersection (**i**) d'une surface géologique plane S (limite de couche, faille…) avec la surface topographique est une des informations essentielles des cartes géologiques (fig. 3.3-a). Cette ligne, de forme plus ou moins irrégulière, n'est pas quelconque mais obéit à des règles géométriques précises.

*Un premier rappel :* La surface topographique (T) est figurée par des lignes dites **courbes de niveau** (*n*), d'altitude constante, formées par l'intersection de cette surface (réelle) avec des plans horizontaux (virtuels) régulièrement espacées (dits équidistants) (voir chap. 1).

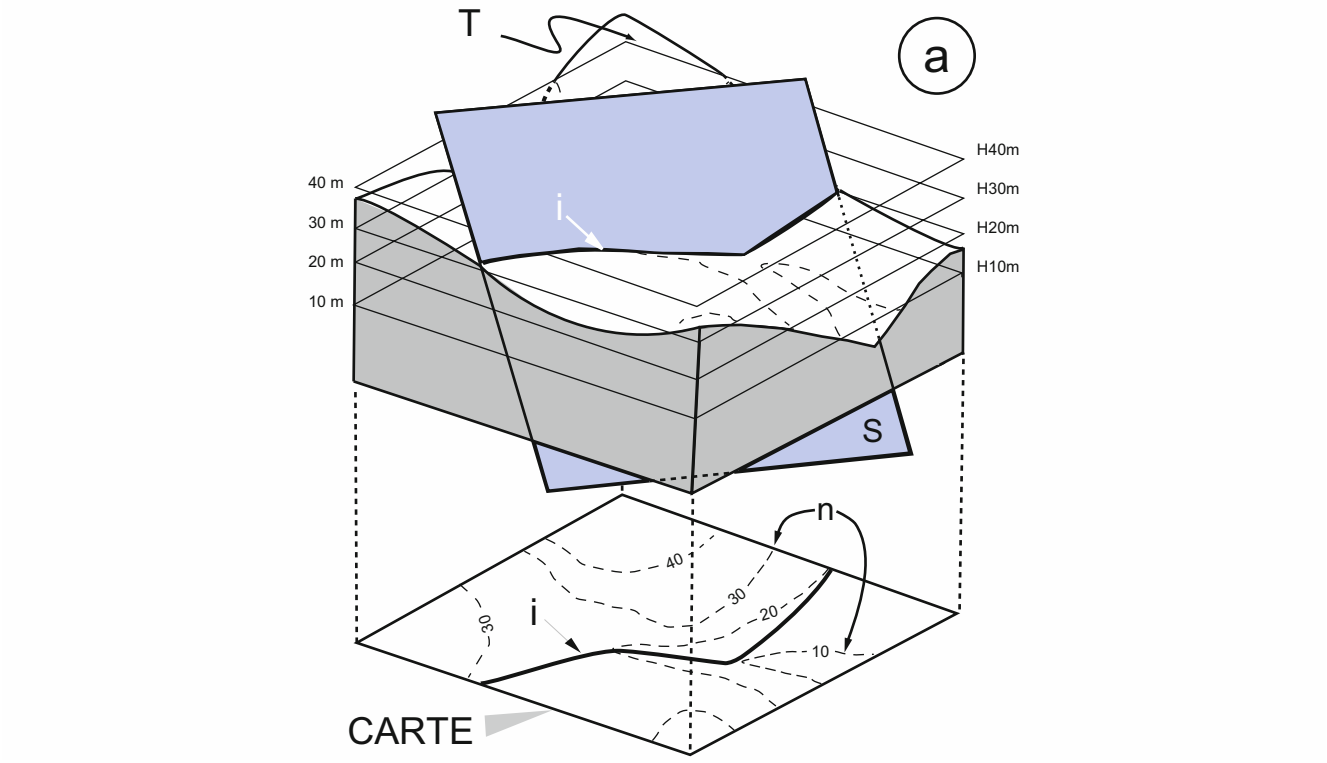
*Un deuxième rappel :* Une surface plane S peut être définie dans l'espace, au moins de trois façons différentes (fig. 3.3-b) :

– à partir de trois points non alignés (a, b, c) ;
– par une droite et un point (a et D) ;
– par deux droites parallèles (D1 et D2).

Dans ce qui suit le plan est déterminé par ce dernier cas. Plus précisément les droites parallèles D1, D2, D3... qui définissent le plan S sont horizontales et sont formées par l'intersection de celui-ci avec des plans horizontaux et équidistants H1, H2, H3… Projetées orthogonalement sur un plan horizontal H0, les lignes D1, D2, D3… donnent les lignes D'1, D'2, D'3… qui sont toujours des lignes parallèles et à écartement égal (fig. 3.4-a). Leur orientation (δ) et leur écartement (**e**) sont directement fonction de l'orientation et du pendage du plan S dans l'espace. On voit que plus le pendage du plan S est faible, plus l'écartement (e) des droites D est grand (fig. 3.4-b) ; il est infini pour un pendage nul (α = 0°) et nul pour un pendage vertical (α = 90°).

Si dans notre construction (fig. 3.5) on choisit comme plans de référence les plans horizontaux équidistants qui génèrent les courbes de niveaux, on remarque que la trace (**i**) d'un plan **S** avec la surface topographique n'est rien d'autre que la ligne joignant les points d'intersection des courbes de niveau et des horizontales (**h**) de même altitude. Cette relation géométrique montre que *l'on peut déduire la trace d'intersection d'un plan d'orientation connue avec une surface topographique donnée et inversement que l'on peut déduire l'orientation d'un plan à partir de sa trace d'intersection avec une surface topographique.*

Pour illustrer cette importante relation, prenons une surface topographique simple en forme de vallée en V entaillant un plateau horizontal et une surface plane S, de pendage variable α (fig. 3.6). On remarque que lorsque la surface S est horizontale (α = 0) sa trace t est parallèle aux courbes de niveaux (1, fig. 3.6). Si la surface S est inclinée, sa trace t est plus ou moins infléchie au passage de la vallée (2 et 3, fig. 3.6), où elle dessine un **V**. La pointe du V est topographiquement plus basse que ses branches. Son angle est plus ou moins ouvert selon la valeur du pendage ; il est grand, quand le pendage est fort et il est petit, quand il est faible. On note également que l'ouverture de l'angle est directement fonction du sens de pendage du plan : l'ouverture de la trace 2 est vers le Sud, car le pendage du plan 2 est vers le Sud ; l'ouverture de la trace 3 est vers le Nord, car le pendage du plan 3 est vers le Nord. Enfin, si le pendage est vertical (4 et 5, fig. 3.6), la trace t est rectiligne et orientée selon la direction du plan P.



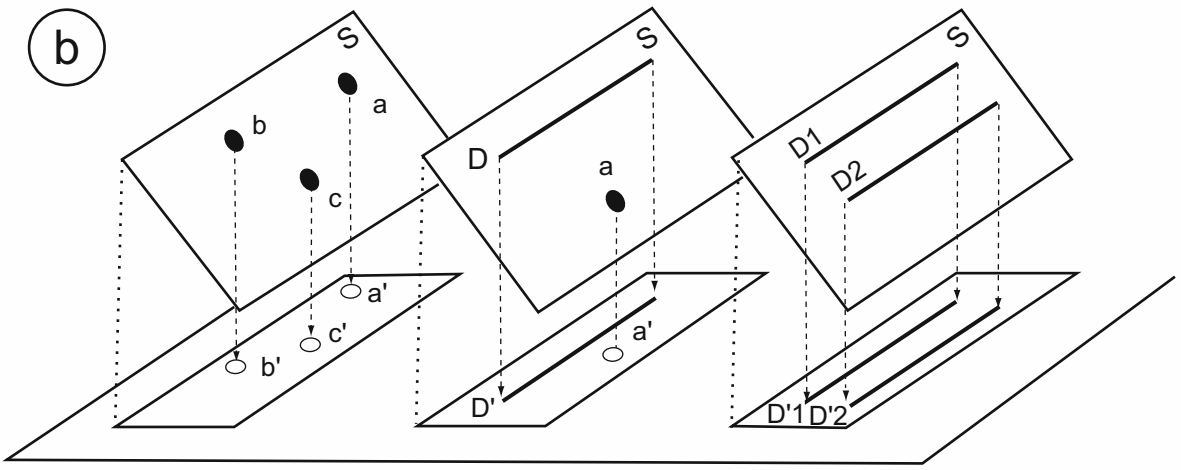




**Figure 3.3** **a) Intersection d'une surface géologique (S) avec une surface topographique (T) : vue en trois dimensions et en carte. b) Définition d'une surface plane en géométrie dans l'espace.**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

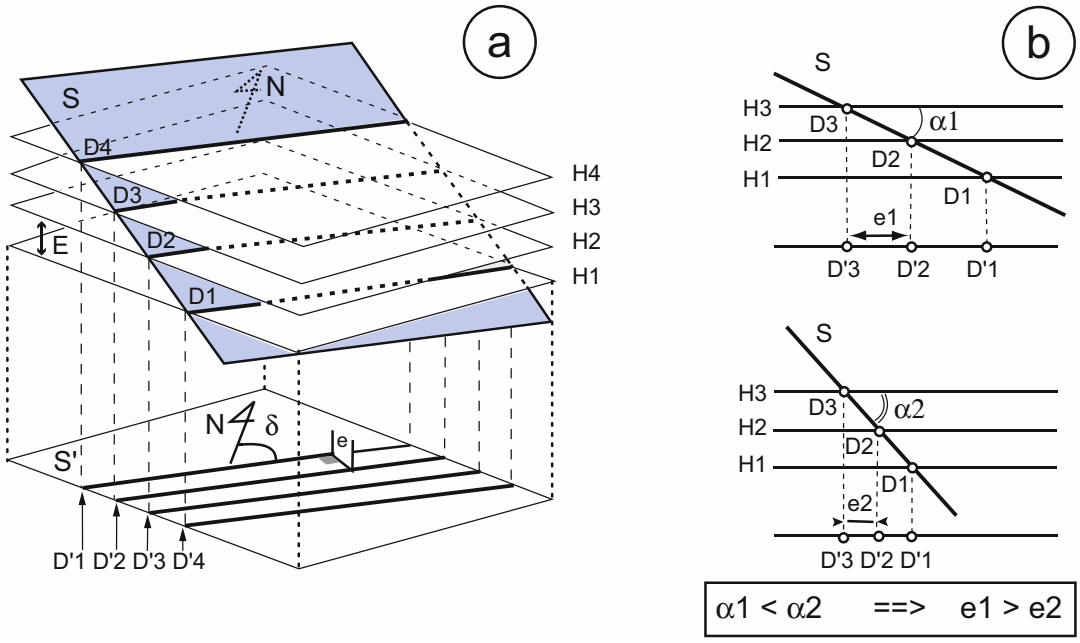



**Figure 3.4** **Intersection d'une surface (S) avec des plans horizontaux équidistants (H) : détermination du réseau d'horizontales direct (Rh) et projeté (Rh') de cette surface S. a) Vue dans l'espace. b) Vue en coupe montrant la variation de e en fonction de α.**

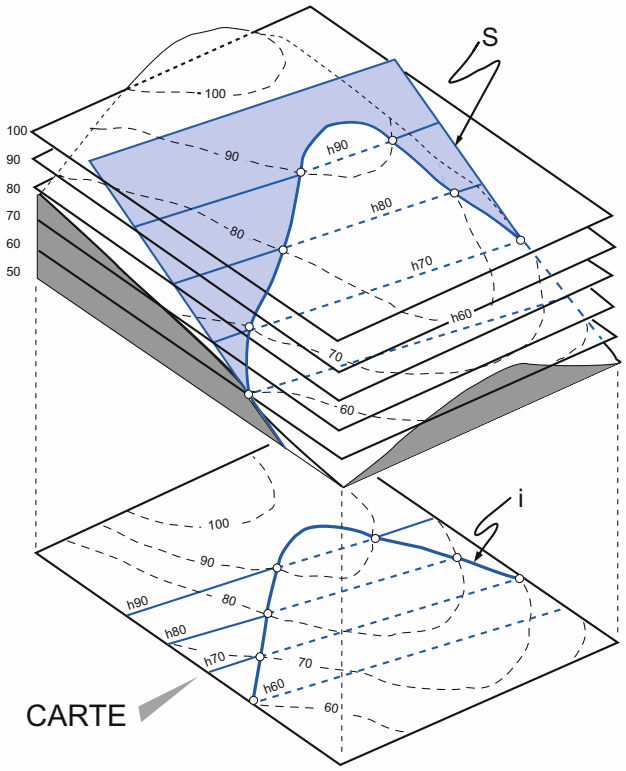



**Figure 3.5** **Réseau d'horizontales du plan S : vue dans l'espace et en carte.**

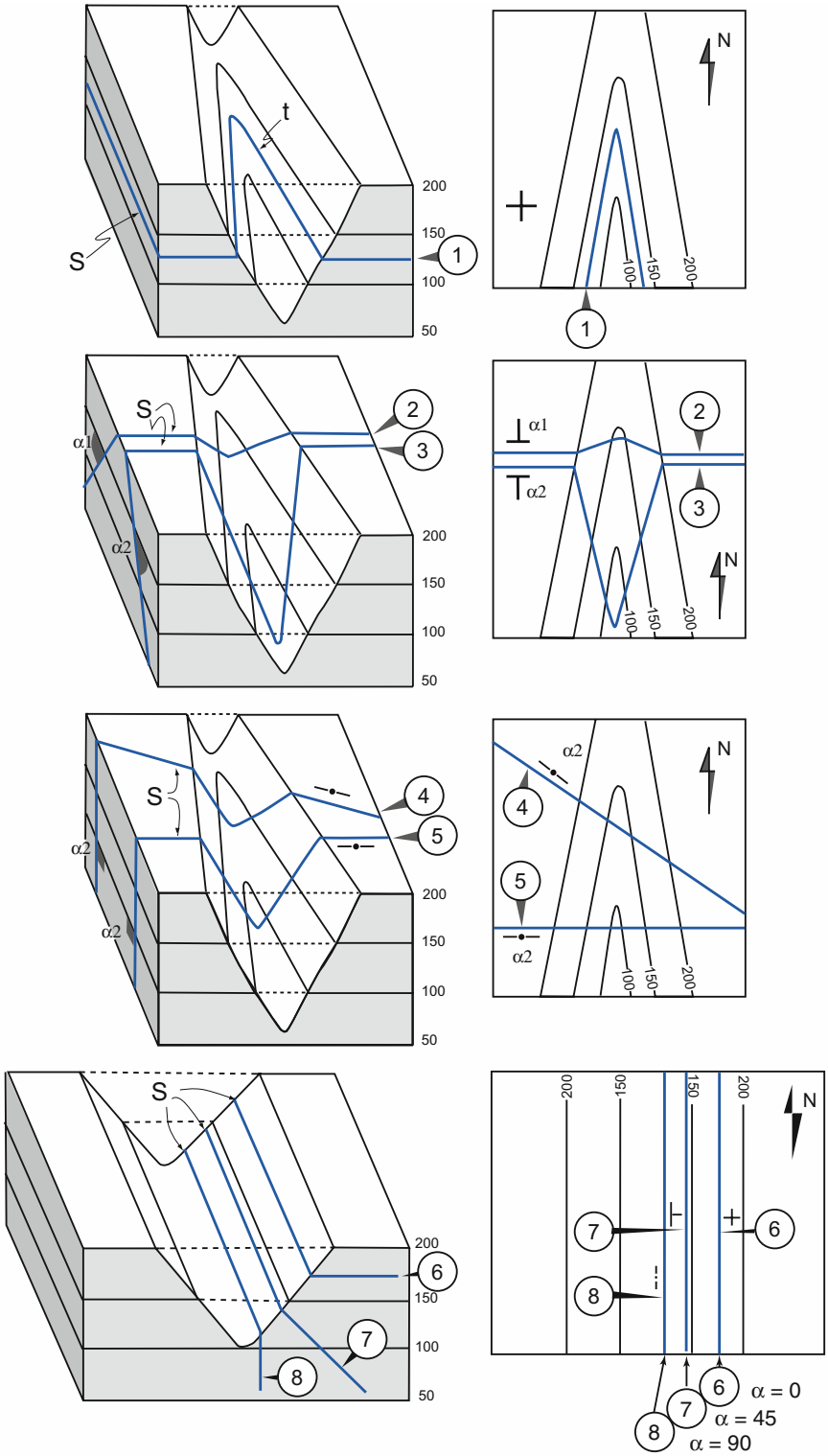



**Figure 3.6** **Exemples d'intersections de surfaces planes (S) de pendage variable, avec une topographie de vallée ; vues dans l'espace (à gauche) et en plan (à droite).**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

Cette notion de **V dans les vallées** permet de faire une estimation rapide du sens et de la valeur du pendage des limites de couches et des plans de failles figurées sur toutes les cartes géologiques. Cette notion est bien sûr applicable à des topographies de crêtes à la place de vallées mais le raisonnement est simplement inversé en raison de la forme en Λ de la trace géologique. L'application de cette notion est d'autant plus fiable que la direction du plan étudié est perpendiculaire à l'axe de la vallée ou de la crête prise en considération, mais elle est inutilisable lorsque celle-ci est parallèle à cet axe car une même géométrie des traces peut correspondre à des plans de pendages différents (6,7 et 8, fig. 3.6).

## 3.4 Notion des « 3 points »

Afin de généraliser les propriétés géométriques précédentes on peut utiliser la construction suivante.

Sur la trace (**t**) du plan dont on veut déterminer le pendage, on repère **3 points** A, B et C, dont 2 au moins sont d'altitudes différentes (l'altitude étant déterminée grâce aux courbes de niveaux). À partir des relations géographiques et altimétriques qui lient ces points il est aisé de « visualiser » le plan auquel ces trois points appartiennent. Pour faciliter cette visualisation, on peut tracer le triangle qui les joint (fig. 3.7-a).

On peut également choisir sur les trois points de la trace t, deux ayant même altitude (A et B, fig. 3.7-b). La droite joignant ces deux points est une horizontale du plan étudié. Son orientation par rapport au Nord (angle δ) indique la direction D du plan. La position du 3e point, par sa position géographique et sa cote vis-à-vis des deux autres points, indique le sens du pendage du plan. Dans l'exemple donné le point C, d'altitude inférieure (cote 100 m) par rapport à A et B, est situé au SW de l'horizontale AB ; le plan dont on voit la trace aux points A, B et C a donc un pendage vers le SW. Le symbole de pendage en forme de **T** précise cette orientation.

### a) Détermination précise du pendage

La valeur précise du pendage d'un plan (limite de couche ou faille) peut être obtenue à l'aide de la construction suivante :

– on choisit sur la trace (t) du plan étudiée des points (A et C) de même altitude (ici 200 m), par lesquels on trace la droite D1 (fig. 3.8). Cette droite D1 est une horizontale du plan dont elle nous indique sa direction (D). Toujours sur la trace du plan, on repère un troisième point (C), d'altitude différente (ici 100 m), par lequel on trace une droite D2 parallèle à la droite D1. Cette droite D2 est une deuxième horizontale du plan ; son altitude est connue grâce à l'altitude de la courbe de niveau qu'elle intersecte (point B). À partir de ces deux droites on construit un triangle rectangle dont la base **Eq** est égale à la différence d'altitude qui sépare ces 2 droites (la longueur du segment Eq est à l'échelle de la carte) ;

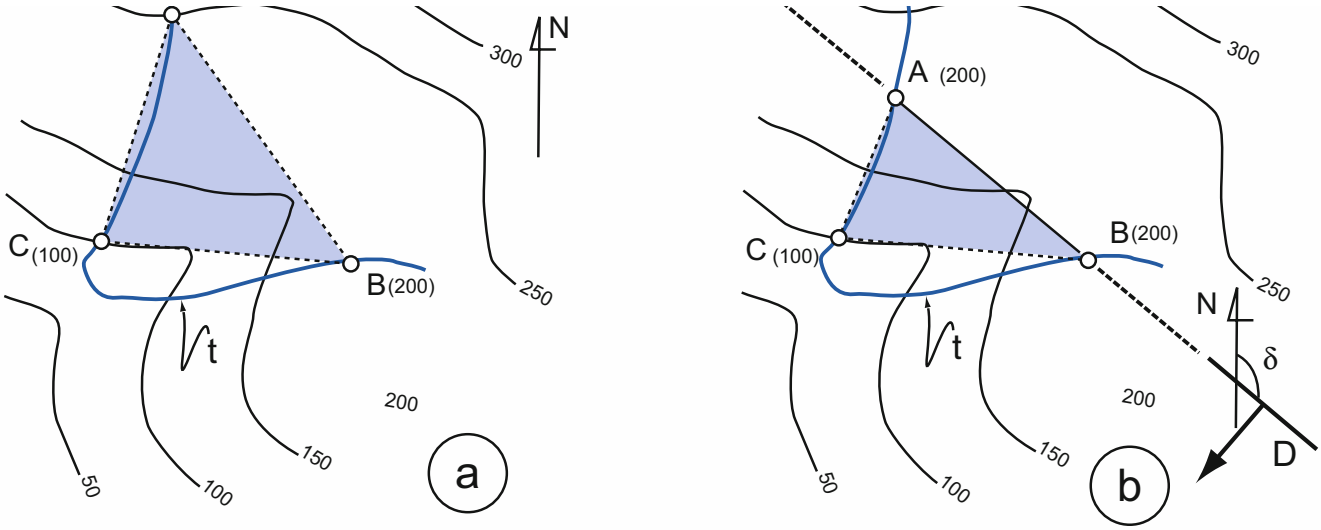



**Figure 3.7 Détermination de l'orientation d'un plan de trace t par la construction des « 3 points » : a) visualisation du plan (triangle grisé) ; b) construction du symbole de pendage du plan.**

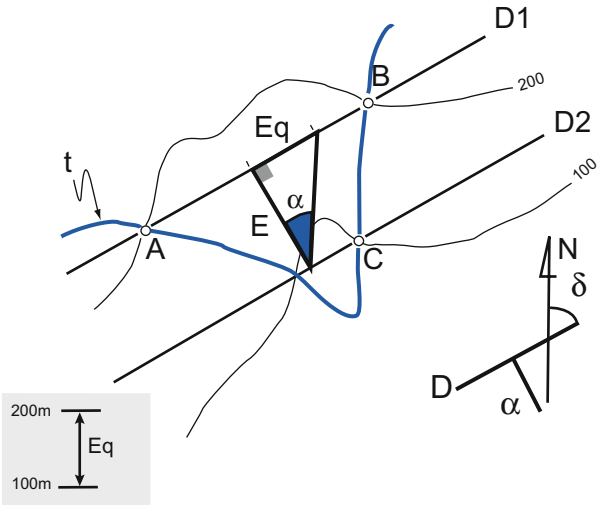



**Figure 3.8** **Détermination précise de la valeur du pendage du plan.**

– perpendiculairement aux droites D1 et D2, on trace ensuite le segment **E** (qui est l'écartement des horizontales) et on termine le triangle en traçant son hypoténuse (fig. 3.8). L'angle α, opposé au segment Eq, est le pendage du plan dont on connaît la trace (t). Cet angle est mesuré directement sur la construction ou déduit de sa tangente.

### b) Pendage réel et pendage apparent

La mesure du pendage d'un plan peut être faite dans diverses sections de celui-ci. Seul le pendage α mesuré dans un plan vertical, orthogonal à la direction (D) du plan (V1, fig. 3.9), correspond au **pendage réel** ou **pendage vrai**. Tous les autres pendages tels que α', mesurés selon des sections d'orientation différente (V2, par exemple), sont des **pendages** dits **apparents** (fig. 3.9).

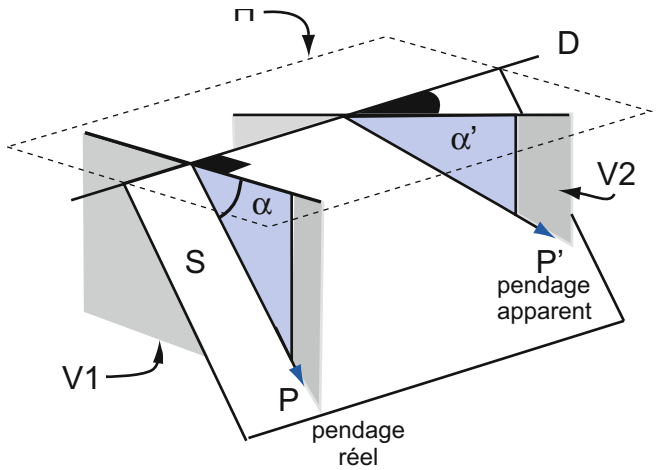



**Figure 3.9** **Distinction entre pendage réel et pendage apparent d'un plan.**

## 3.5 Du plan aux couches

### a) Notion de surfaces d'affleurement

Les formations géologiques qui sont représentées par des surfaces d'affleurement sur les cartes géologiques sont, en réalité, des volumes dont les coupes, faites selon un plan vertical, donnent un aspect de leur organisation.

S'agissant des formations sédimentaires, il existe des relations géométriques étroites et directes entre l'épaisseur des couches (mesurée sur le terrain), leur pendage et la forme de la surface topographique où elles affleurent. La **surface d'affleurement** d'une couche correspond à l'intersection de celle-ci avec la surface topographique.

La carte étant la projection sur un plan horizontal de la surface topographique qui est généralement une surface gauche, plus ou moins inclinée, il n'y a pas de correspondance exacte entre la surface réelle des objets couchés sur la surface du sol et leur surface sur la carte. On doit donc distinguer les surfaces apparentes représentées sur les cartes, des surfaces réelles mesurées par exemple par le géomètre, sur le terrain. Ainsi la surface apparente (de la carte) est donc le plus souvent plus petite, éventuellement égale à la surface réelle (du terrain), mais jamais plus grande.

En coupe on remarque, pour la même raison, que la largeur d'affleurement réelle (**lo**) ou apparente (**lc**) d'une couche donnée, d'épaisseur **ep**, est fonction du pendage (α) de la couche et de la valeur (α') de la pente topographique (fig. 3.10-a). On note ainsi que :

– lorsque le pendage (α) d'une couche d'épaisseur (**ep**), est constant, sa largeur d'affleurement apparente (**lc**) est d'autant plus petite que la pente topographique (α') est forte (fig. 3.10-b) ;

– pour une surface topographique de pente donnée (α') fixe, une couche d'épaisseur fixe (**ep**) sera représentée par des largeurs d'affleurements réelles et apparentes différentes (fig. 3.10-c) ; la largeur d'affleurement apparente (**lc**) sera égale à l'épaisseur de la couche lorsque le pendage est vertical ;

– enfin, une couche d'épaisseur (**ep**) peut avoir la même largeur d'affleurement réelle (**lo**) et apparente (lc) tout en ayant un pendage très différent : position 1 et pendage **α1** et position 2 avec le pendage **α2** (fig. 3.10-d).

En corollaire :

– si on connaît le pendage (α) d'une couche on peut déduire son épaisseur (**ep**), à la condition que le pendage soit constant sur toute la largeur d'affleurement considéré (fig. 3.11-a). La construction de la couche en coupe se fait en traçant, à la limite supérieure (**s**) et inférieure (**i**) de la trace d'affleurement (**lo**), les droites **Ds** et **Di** de pendage α ;

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

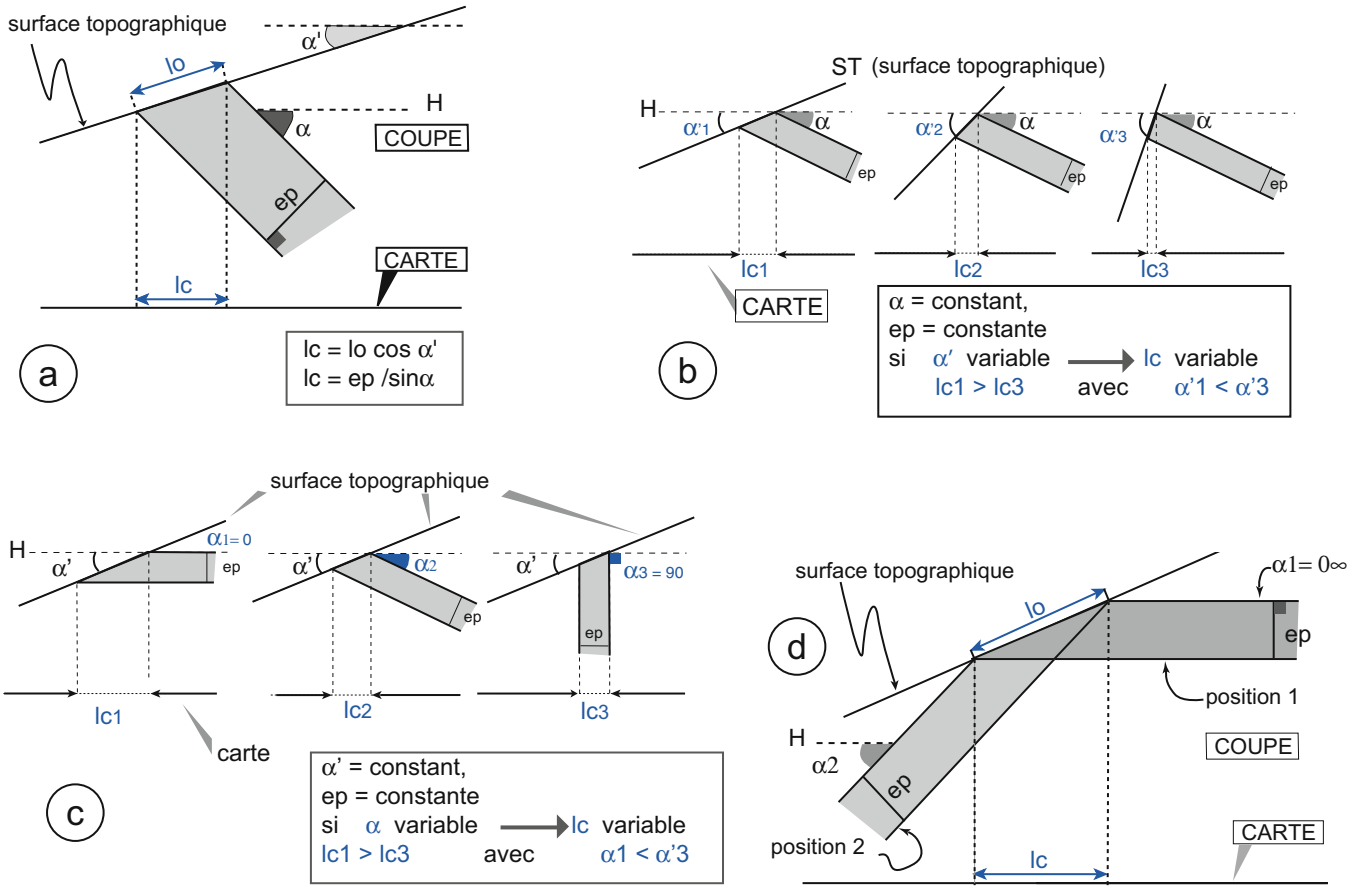



**Figure 3.10** **a) Notion de largeur d'affleurement réelle (lo) et apparente (lc) d'une couche.**
**b) Influence de la pente topographique (α') sur la largeur apparente (lc) d'une couche.**
**c) Influence de la valeur du pendage (α) d'une couche sur sa largeur d'affleurement (lc).**
**d) Ubiquité d'orientation d'une couche d'épaisseur ep et de largeur d'affleurement l0 (et lc).**

– si on connaît l'épaisseur (**ep**) d'une couche et seulement le sens de son pendage (méthode des 3 points, *cf.* supra) on peut en déduire la valeur de ce pendage (fig. 3.11-b).

La construction de la couche en coupe est la suivante : par le point **s**, trace du sommet de la couche sur la surface topographique, on trace un arc de cercle de rayon **ep** (ep : épaisseur de la couche) (a, fig. 3.11-b) ; par le point **i**, trace de la base de la couche, on dessine la tangente (**Di**) à l'arc de cercle (b, fig. 3.11-b). Par **s** on trace la parallèle **Ds** à **Di** ; Ds représente le sommet de la couche. Le pendage de la couche dès lors figurée peut être connu par sa mesure directe sur la coupe (c, fig. 3.11-b).

## b) Variations du pendage sur une même surface d'affleurement

Il est courant, dans les régions déformées, que le pendage d'une couche varie le long de sa trace d'affleurement. Deux cas peuvent se présenter :

– les variations sont indiquées par différents signes et valeurs de pendage (carte, fig. 3.12-a) ; l'épaisseur des couches étant connue, on constate que plusieurs tracés de couches sont possibles (coupe, fig. 3.12-a) ;

– un seul signe de pendage est indiqué (carte, fig. 3.12-b) ; l'épaisseur des couches étant connue, plusieurs tracés de couches sont ici aussi possibles (coupe, fig. 3.12-b).

Ces deux exemples montrent qu'une coupe n'est qu'une interprétation de la réalité ; celle-ci peut être approchée avec des données complémentaires telles que des données de forages, de profils géophysiques etc.

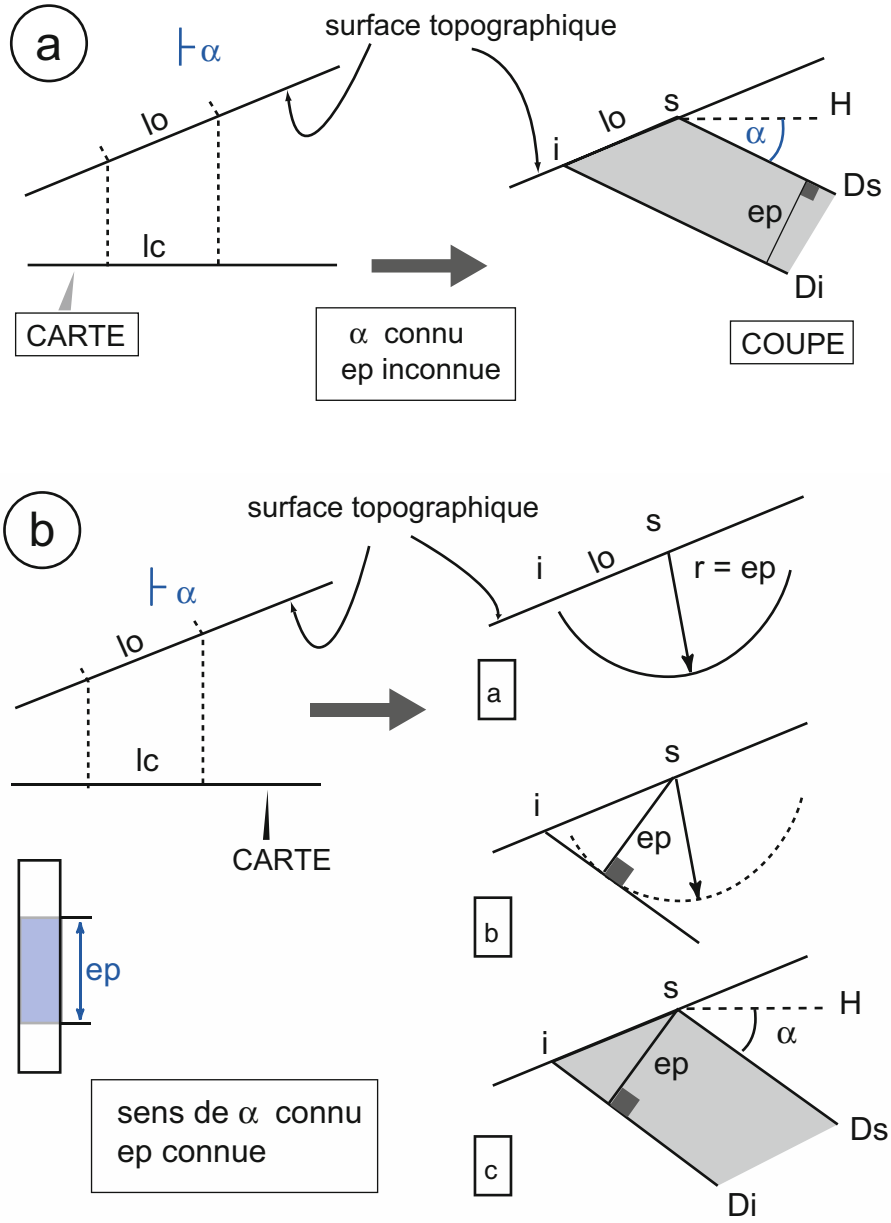



**Figure 3.11** **a) Construction d'une couche de pendage (sens et valeur) connu (α) et d'épaisseur inconnue.**
**b) Construction d'une couche d'épaisseur connue, de sens de pendage connu mais de valeur de pendage inconnue.**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

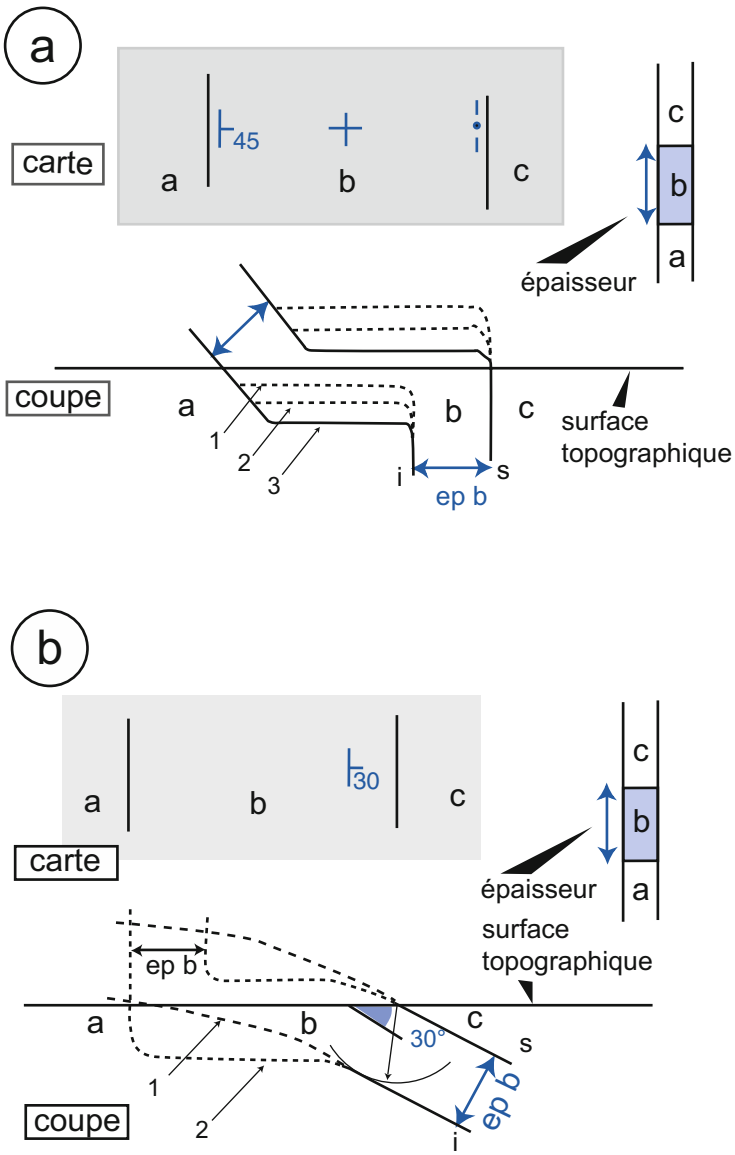



**Figure 3.12** **a) Construction d'une couche montrant des variations de pendage le long d'une largeur d'affleurement. b) Exemple de dualité de construction de couche dans une coupe géologique.**

# Exercices sur les relations entre topographie et structures géologiques

## Introduction

La lecture d'une carte géologique, c'est-à-dire la compréhension de la structure de la région qu'elle couvre, est un exercice compliqué qui nécessite de prendre en compte un nombre important de données.

La coupe géologique est le moyen « classique » de représenter cette structure, mais elle ne la visualise que sur une section verticale et locale de la carte.

Afin de « lire » la totalité de l'information indiquée sur la carte géologique, nous proposons, en complément à la réalisation de coupes, une méthode d'apprentissage à la lecture directe des cartes géologiques. L'acquisition de cette lecture « globale » se fait à l'aide d'exercices graphiques spécifiques.

## Principe de la méthode

Ces exercices ont pour but de faire comprendre, sur des exemples simples, les relations géométriques qui lient l'orientation des surfaces (direction, pendage) figurant des éléments géologiques (limite de couches, failles…) et leur intersection avec une surface (topographique) de forme quelconque et d'acquérir ainsi un « automatisme réfléchi » de la lecture des cartes géologiques.

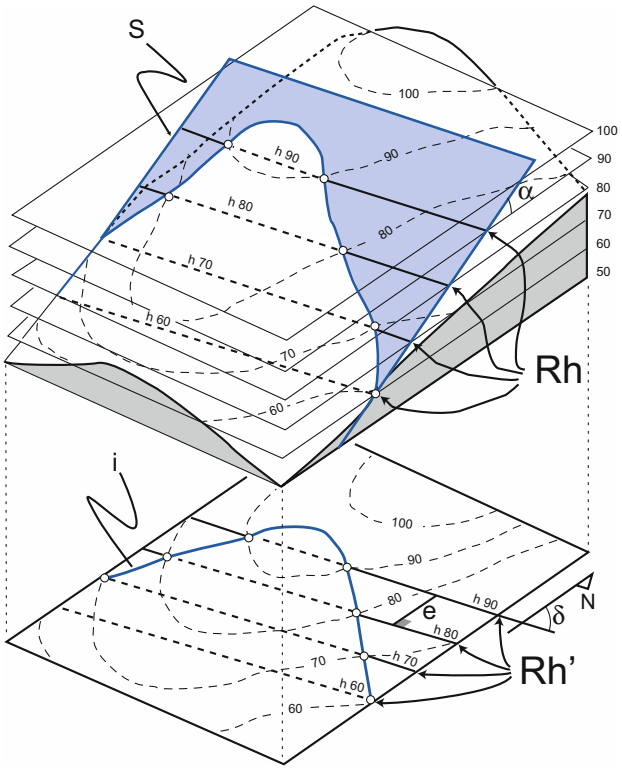



**Figure 3.13** **Représentation du réseau d'horizontales (Rh) d'une surface S, recoupant selon la trace i, la surface topographique ; Rh' représente le réseau d'horizontale projeté sur la carte.**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

Ces exercices comportent :

– un fond topographique en courbes de niveaux ;

– des données géologiques ponctuelles identiques à celles rencontrées sur le terrain (traces d'affleurements, limites de couches, failles…), des données de subsurface comme par exemple celles fournies par des forages (nature, âge, épaisseur des couches traversées…) ;

– des données plus générales telles que des coupes géologiques ou des profils géophysiques (sismiques).

## La réalisation

Toutes les surfaces géologiques (limites de couches, failles…) sont assimilées à des plans ou à des portions de plans. Ceux-ci sont caractérisés par leur attitude (direction et pendage). Sur les principes géométriques élémentaires précédemment décrits, nous avons vu que tout plan pouvait être représenté par un réseau d'horizontales (Rh) dont les altitudes (cotes) sont choisies identiques à celles des courbes de niveaux de la surface topographique ; autrement dit l'équidistance et les cotes des horizontales sont les même que celle des courbes de niveaux (fig. 3.4-a, 3.5).

Projetées sur le fond cartographique les horizontales du plan analysé forment un réseau (**Rh'**) de droites parallèles et équidistantes – appelé **réseau d'horizontales** – dont l'orientation, par rapport au Nord, indique la direction (δ) du plan, tandis que leur écartement (e), indique la valeur du pendage (α) ; le sens du pendage est directement déduit de la variation des cotes des horizontales (fig. 3.13).

– *La première étape* de la réalisation de ces exercices est la recherche et la construction du réseau d'horizontales (Rh') de la surface S étudiée. Plusieurs types de données permettent de faire cette construction ; ce sont généralement des traces d'affleurements de faible extension, des résultats de forages ou de galeries de mines.

– *La deuxième étape* consiste à reconstituer la trace des diverses surfaces géologiques à l'aide de leurs réseaux d'horizontales.

### *Cas de la trace (t) d'une surface S, sur laquelle, parmi 3 points d'altitude connue, 2 ont la même altitude* (fig. 3.14)

Par les deux points de même altitude (points a et b, fig. 3.14-b), on trace la droite ab ; cette droite est une horizontale du réseau d'horizontales (Rh'). Sur la figure c'est l'horizontale d'altitude 300 m ou h300.

On cherche ensuite, toujours sur la trace t, un troisième point (c) d'altitude différente, situé à l'intersection avec une courbe de niveau différente de la précédente (point c, fig. 3.14-c). Par c on trace une droite parallèle à ab : c'est une deuxième horizontale du réseau Rh' (ici l'horizontale h250). Le réseau d'horizontale qui caractérise le plan S, dont on ne connaît qu'une petite portion de sa trace, est alors complètement déterminé en direction (orientation des horizontales) et en écartement e (distance entre les horizontales)

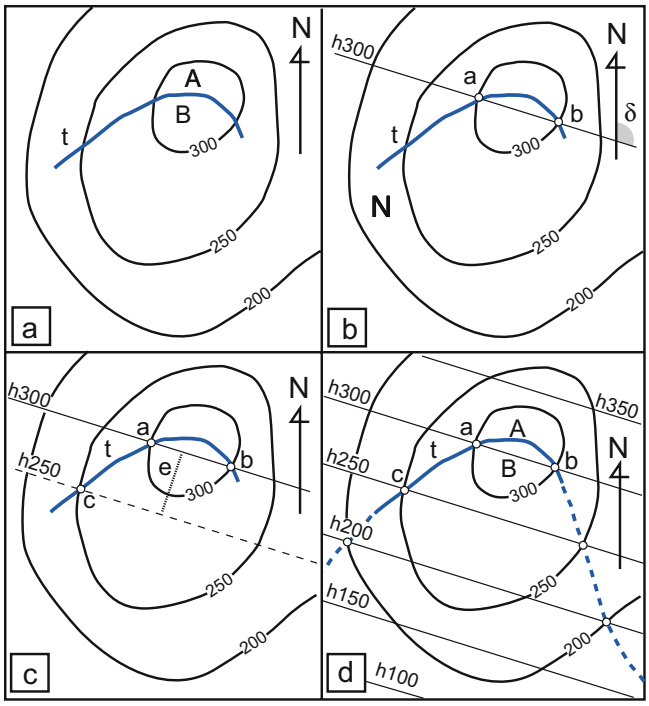



**Figure 3.14 Construction de la trace d'un plan à partir de 3 points, dont 2 ont la même altitude.**

(fig. 3.14-d) ; on peut le dessiner sur l'ensemble de la carte où l'on suppose que ces caractéristiques sont inchangées.

La trace (t) du plan S avec la surface topographique peut alors être étendue à l'ensemble de la carte, en repérant systématiquement toutes les intersections d'horizontales et de courbes de niveaux de même altitude (fig. 3.14-d). La trace complète du plan est obtenue en joignant ces divers points d'intersection, sachant qu'entre deux horizontales successives (par exemple entre les horizontales h200 et h250) la trace t ne peut se trouver qu'entre les courbes de niveaux correspondantes (200 et 250).

### *Cas où la trace t du plan S ne possède pas de points de même altitude* (fig. 3.15)

Le réseau d'horizontales (Rh') est déterminé de la manière suivante :

– on construit le triangle abc passant par les points intersections a, b et c de la trace t et des courbes de niveaux 100, 200 et 300. A et B symbolisent les terrains séparés par la trace t ;

– du point d'altitude intermédiaire (ici b : 200 m) on trace la médiane bm (fig. 3.15-a) : elle correspond à l'horizontale h200 du réseau d'horizontales. Parallèlement à celle-ci on trace les horizontales h300 passant par a et h100 passant par c (fig. 3.15-b). Puis le réseau est dessiné sur l'ensemble de la carte ;

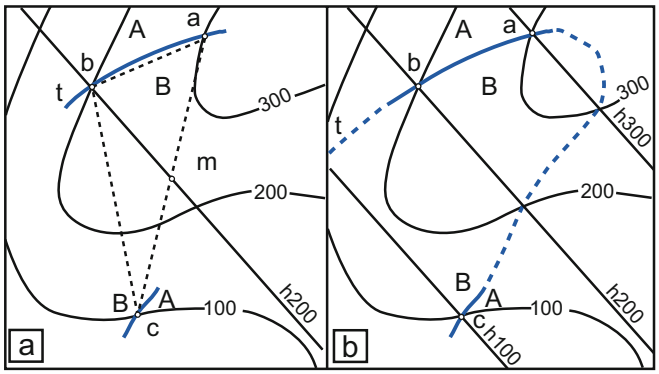



**Figure 3.15** **Construction de la trace d'un plan à partir de 3 points d'altitudes différentes.**

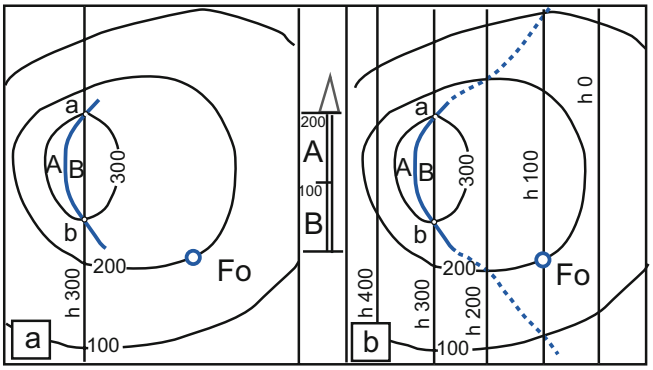



**Figure 3.16** **Construction de la trace d'un plan à partir de 2 points et de données de forage.**

– la construction de la trace t du plan S est alors faite comme précédemment.

***Cas où la trace du plan S n'a que 2 points d'altitude connue*** (ici de même altitude)

Cette donnée cartographique est complétée par des données de forage (Fo) (fig. 3.16).

– La direction du réseau d'horizontales (Rh') est déterminée par la droite ab (fig. 3.16-a) (h300 m).

– La lecture des données du forage nous renseigne sur l'altitude à laquelle le forage intersecte la surface S limitant les terrains A et B. Ainsi est déterminée la deuxième horizontale de Rh' (h100, fig. 3.16-b).

– Le réseau Rh' peut être alors étendu à toute la carte et la trace de t dessinée dans sa totalité (fig. 3.16-b).

***Cas où la trace t du plan S n'intersecte qu'une courbe de niveau, mais où une mesure de pendage a été réalisée*** (fig. 3.17)

– Le figuré de pendage nous indique la direction du réseau d'horizontale : la première horizontale du réseau (h200) passe par a et est tracée parallèlement à la direction (D) (fig. 3.17-a).

– Sur la base de cette première horizontale on construit le « triangle (bcd) de pendage » du plan (*cf.* fig. 3.8) : ce triangle est rectangle ; sa base Eq correspond à l'équidistance des courbes de niveau (ici 100 m) et l'angle opposé au coté Eq correspond au pendage ($\alpha$). Pour construire ce triangle il suffit de porter à partir du point b de position quelconque sur h200, la normale (db) à celle-ci ; par c, situé à une distance Eq de a sur l'horizontale h200, on trace le segment cd, qui fait un angle $\Pi/2 - \alpha$ avec bc. Par d on trace la parallèle à l'horizontale h 200 ; son altitude est h – Eq (ici : h100) (fig. 3.17-b). On obtient alors la deuxième horizontale du réseau d'horizontales (fig. 3.17-c).

– Ce réseau est ensuite étendu à toute la carte et la trace de t est dessinée dans sa totalité (fig. 3.17-d).

De nombreux autres cas peuvent être envisagés selon que l'on connaît ou non la valeur du pendage d'une surface et diverses autres données de surface. On peut également résoudre graphiquement de tels exercices avec des données uniquement de subsurface, par exemple la description des données de trois forages proches.

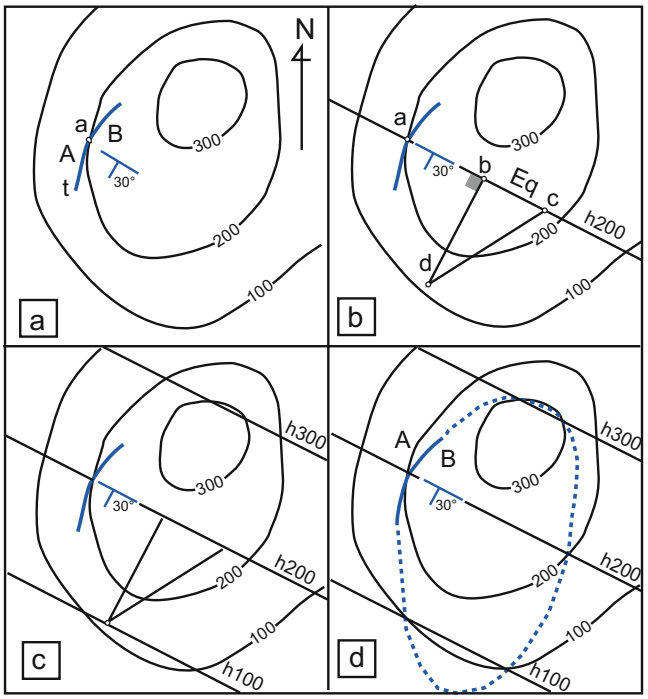



**Figure 3.17** **Construction de la trace d'un plan à partir d'1 point et d'une mesure de pendage.**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

# Deux exemples de réalisation d'exercices graphiques

## Premier exemple : affleurements localisés de deux séries monoclinales discordantes

### *Les données*

Les affleurements de deux séries sédimentaires différentes B et C sont repérés sur le terrain et reportés sur la carte. Un forage (Fo) a été réalisé dans la partie ouest de la carte. Il a traversé les couches B3 et B2 et est arrêté dans B1 ; le résultat du forage est indiqué (fig. 3.18-1). La série C est plus jeune que la série B.

### *La construction*

*Le réseau de la série* C : la direction des horizontales est donnée par la trace de la base de C1 (points a et b) (fig. 3.18-1). Tracer l'horizontale de la base de C1150 ; par c, parallèlement à celle-ci passe l'horizontale C1/C2 200 (fig. 3.18-2).

*Le réseau de la série B* : la direction des horizontales est obtenue sur la trace de B3/B2. L'horizontale B3/B2 passe par e et f (fig. 3.18-3). La même limite est recoupée dans le forage à l'altitude 100 m (log fig. 3.18). Le réseau de la série B est alors défini. La limite B2/B1 est déduite du forage par décalage du réseau de -150 m (fig. 3.18-3).

L'ensemble de la carte géologique peut alors être reconstitué. On note que la base de C1 est nettement discordante sur la série B (fig. 3.18-4).

### *Questions*

*Direction et pendage des séries B et C.* Les directions $\delta B$ et $\delta C$ des séries B et C sont mesurées sur la carte, par rapport à la direction du Nord. Le pendage est obtenu par la construction du « triangle de pendage ». Celui-ci a pour côté Eq (valeur de l'équidistance à l'échelle de la carte), e (l'écartement des horizontales) ; le pendage $\alpha$ est alors mesuré sur la carte ou déduit de la valeur de sa tangente ($\tan \alpha = Eq/e$).

## Deuxième exemple : reconstitution d'une carte géologique à partir de deux coupes orthogonales

### *Les données* (fig. 3.19, haut)

Deux coupes géologiques AB (E-W) et AC (N-S) et un fond topographique nu. Les coupes montrent deux séries sédimentaires stratifiées (niveaux 1,2,3,4 et 5). La série 1,2,3,4 est monoclinale, à faible pendage vers le SE ; la série 5 est horizontale. Sa base est discordante (D). Une faille (F) à pendage NW, à jeu à composante normale, affecte les deux séries (fig. 3.19, haut).

### *La construction* (fig. 3.19, bas)

a) *Le tracé de la faille* : sur les coupes EW et NS on repère les points a et a' (cote 50 m) et b et b' (cote 150 m) ; reportés sur la trace des coupes on obtient les points ao, a'o, bo et b'o. En joignant ao à a'o et bo à b'o on obtient les horizontales 50 et 150 du plan de faille. L'horizontale 100 m se déduit facilement et le tracé de la faille peut être dessiné sur la carte (fig. 3.19, bas).

b) *Le tracé de la série 5* : celle-ci étant horizontale son intersection avec la surface topographique est à une altitude constante (environ 210 m) dans le compartiment Est et sa trace suit approximativement le contour de la courbe de niveau 200 m. Dans le compartiment Ouest elle est toujours horizontale mais à l'altitude 110 m.

c) *Le tracé de la série monoclinale 1,2,3 et 4* : pour trouver son réseau d'horizontale on repère sur les coupes des points d'une même limite et d'altitude identique ; par exemple e et e' (alt.150 m) et f et f' (alt.100 m) de la surface limite 2/1 (base de la couche 2 et sommet de la couche 1). La droite joignant les projections eo et e'o donne la direction des horizontales. La parallèle à eo, e'o passant par lo donne une deuxième horizontale. Le réseau est alors étendu à toute la carte. Les cotes du réseau sont décalées pour chaque limite de couche. On recherche systématiquement les intersections des courbes de niveau et des horizontales de même altitude pour chaque limite de couche. On joint les points successifs pour obtenir le tracé géologique correspondant.

### *Conseils*

Commencer par tracer les couches ou séries les plus récentes.

Pour préciser le tracé utiliser des horizontales et des courbes de niveau intermédiaires.

### *Questions*

*Direction et pendage de la série 1,2,3.* Le pendage est obtenu par construction du « triangle de pendage » ; la direction est repérée par l'angle $\delta$ par rapport au Nord.

*Pendage et direction de la faille* : ces valeurs sont obtenues de la même façon que pour des couches (cf. supra) ; on remarque que les pendages sur les coupes sont des pendages apparents ; seul le pendage mesuré orthogonalement aux horizontales est exact (pendage vrai).

*Rejet de la faille* : le décalage vertical de la série 5 est de 100 m.

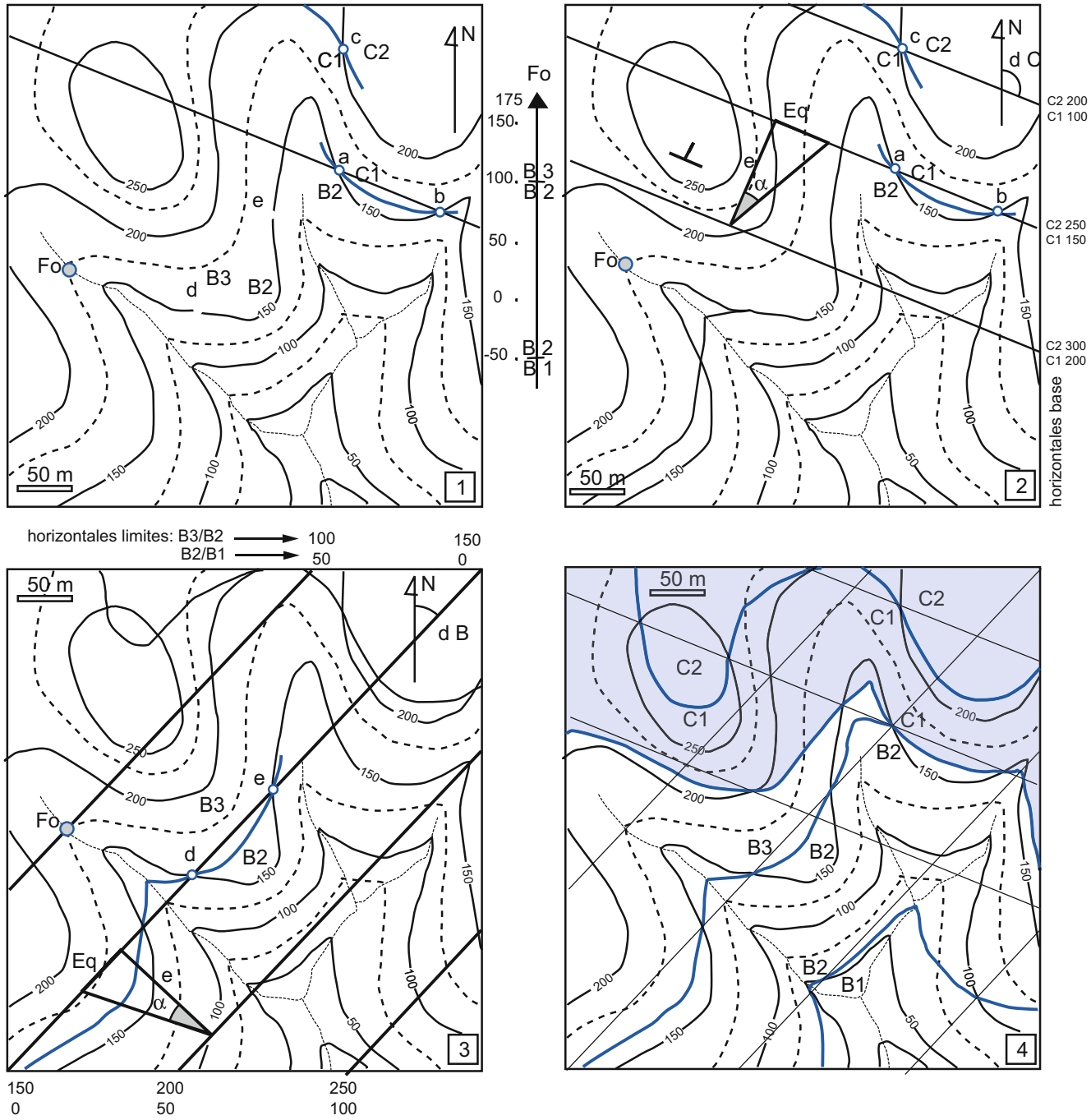



**Figure 3.18** **Exemple de construction utilisant les principes des horizontales des plans : cas de deux séries sédimentaires monoclinales discordantes.**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

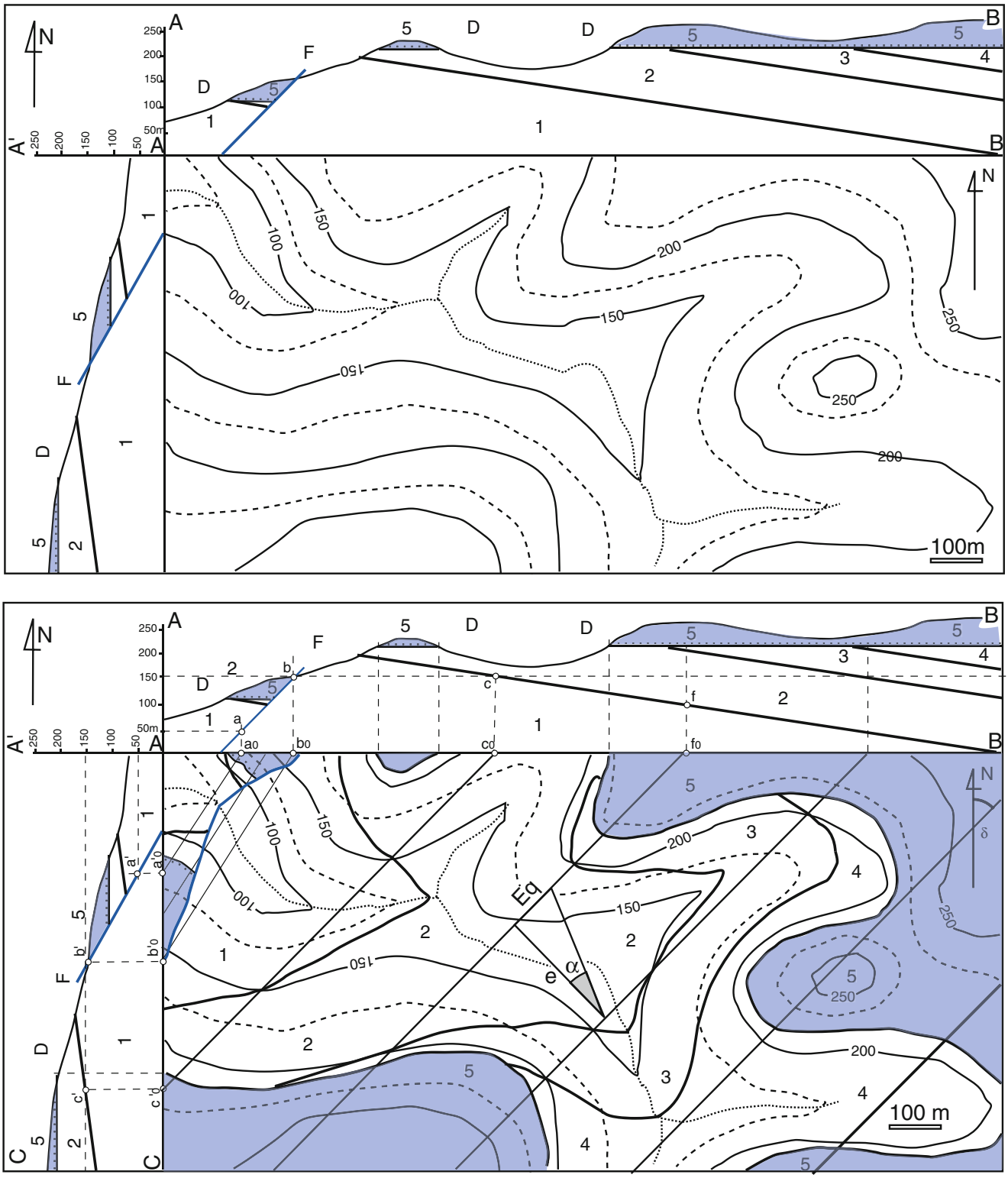



**Figure 3.19** Exemple de construction à partir de deux coupes géologiques orthogonales.

# LES PRINCIPALES STRUCTURES GÉOLOGIQUES

CHAPITRE 4

## 4.1 STRUCTURES TABULAIRES ET MONOCLINALES

### a) Définition

Dans certaines régions les couches sont disposées horizontalement les unes au-dessus des autres, dans leur position originelle. Ces régions ont une **structure tabulaire** (fig. 4.1-1). Lorsque la direction et le pendage des couches sont constants et réguliers, la **structure** est dite **monoclinale** (fig. 4.1-2). Enfin si les couches sont verticales et leur direction constante il s'agit d'une région à **structure monoclinale verticale** (fig. 4.1-3). Le passage rapide, en quelques dizaines ou centaines de mètres, d'une structure tabulaire à une structure monoclinale est appelé **flexure** ou parfois **pli monoclinal** (fig. 4.1-4).

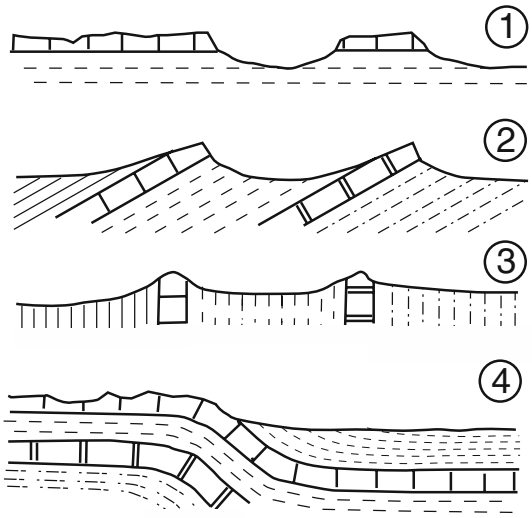



**Figure 4.1** **Exemple de structures tabulaires et monoclinales.**

### b) Expression cartographique des structures tabulaires et monoclinales

La carte (fig. 4.2) représente une région formée d'une succession de couches de direction N-S, dont le pendage varie d'Ouest en Est : le pendage est nul ($\alpha = 0°$) à l'Ouest, il est incliné vers l'Est au centre et il est vertical ($\alpha = 90°$) à l'Est. Ces variations de pendage s'expriment clairement sur la carte dans le tracé des couches :

– *lorsque le pendage des couches est nul, leurs limites suivent le contour des courbes de niveau* ;

– *lorsque le pendage des couches est incliné, leurs limites montrent des inflexions* en forme de « V » *au passage des vallées* et en forme de Λ *au passage des crêtes* (*cf.* chap. 2). La valeur de l'angle des « V » dans les vallées varie, d'Est en Ouest, en fonction de la valeur de l'angle $\alpha$ : il est aigu à l'Ouest et au centre, où le pendage des couches est faible (20-40°) ; il est obtus à l'Est, où le pendage est plus fort (50-80°) ;

– *lorsque le pendage des couches est vertical, leurs limites ne sont pas infléchies au passage des vallées ou crêtes*, mais restent rectilignes, quelle que soit leur direction.

### c) Relation morphologie et structure

Sur la carte (fig. 4.2) on remarque que les formes du relief sont liées à la nature des couches et à leur orientation (notamment leur pendage).

– À l'Ouest un relief tabulaire forme un **plateau**, à l'avant duquel une **butte témoin** a été dégagée par l'érosion ; le rebord Ouest de ce plateau, qui correspond au front principal d'érosion des couches, est appelé **cuesta** (ou côte). Ce relief est directement lié à la structure tabulaire et à la nature résistante à l'érosion de la couche armant le plateau.

– À l'Est, le relief est sous la dépendance de la **structure monoclinale** des couches les plus résistantes à l'érosion. Il est constitué d'une succession de collines asymétriques, (la pente des versants Est, de même sens que le pendage des couches, est plus faible que la pente des versants Ouest) et alignées selon la direction des couches (N-S). Enfin à l'extrémité Est de la carte, où les couches sont verticales, les collines sont symétriques.

## 4.2 STRUCTURES PLISSÉES

### a) Définition

Les régions soumises à des forces en compression se déforment parfois en se plissant, créant ainsi des structures de forme concave et convexe au détriment des surfaces initialement planes (empilement de couches des séries sédimentaires, schistosités ou foliations des séries métamorphiques etc.). De telles structures sont des **plis** (fig. 4.3). Ces plis,

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

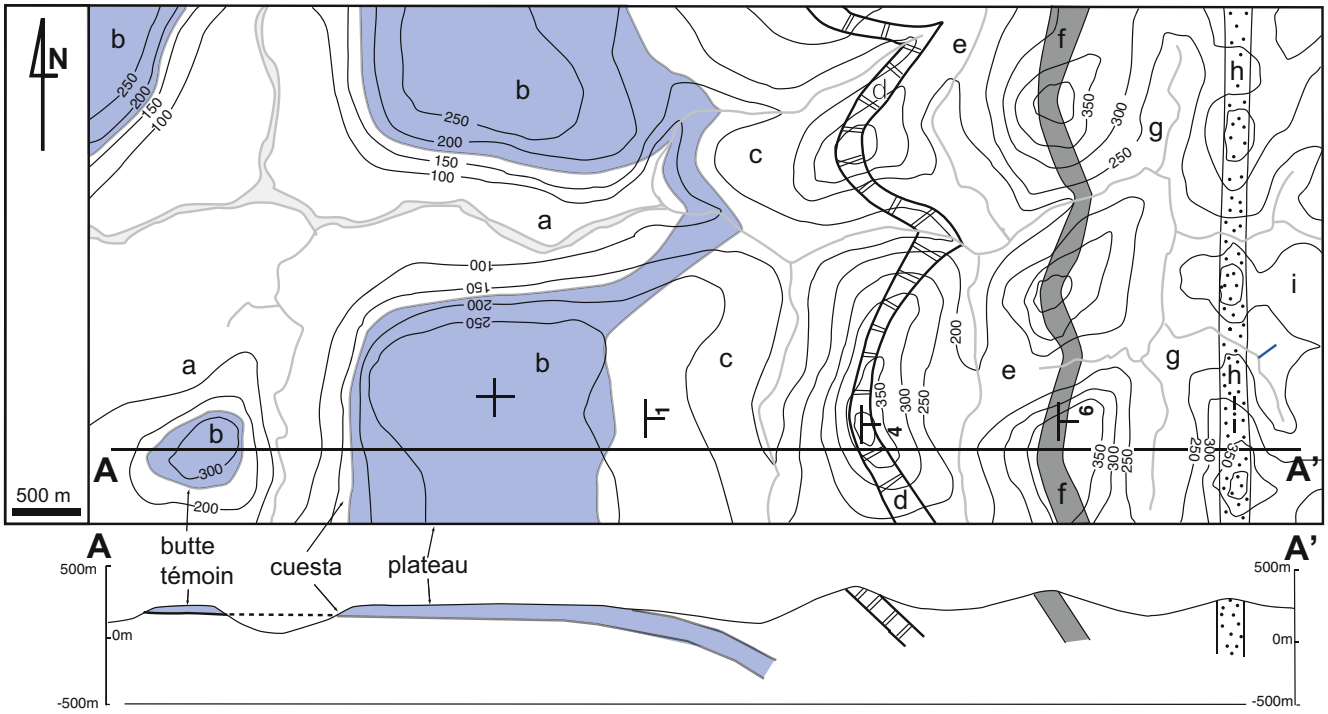



**Figure 4.2** **Structures tabulaires et monoclinales : carte et coupe schématiques.**

appelés **anticlinaux** (structure courbe à concavité vers le bas) et **synclinaux** (structure courbe à concavité vers le haut), indiquent que la déformation des roches s'est faite de manière continue et hétérogène. Un pli est défini géométriquement par son **axe** (lieu de déformation maximum), de part et d'autre duquel se trouvent les **flancs** (portion de couche plus ou moins plane entre un axe anticlinal et synclinal). Le lieu des axes de pli d'un ensemble de couches déformées détermine sa **surface axiale** (plus couramment appelée **plan axial**) (fig. 4.3). Le pendage du plan axial (PA) permet de décrire la **vergence** du pli ; elle est opposée au sens de pendage du plan axial. Selon la valeur du pendage du plan axial sont classiquement définis les plis droits ($\alpha$ PA = 90°), les plis déjetés (90° > $\alpha$ PA > 60°), les plis déversés (60° > $\alpha$ PA > 0°) et les plis couchés ($\alpha$ PA = 0°) (fig. 4.3).

## b) Expression cartographique des structures plissées

– L'Ouest de la région représentée sur la carte (fig. 4.4) est affecté de plis anticlinaux (à pendages divergents) et synclinaux (à pendages convergents), d'axe N-S. Tout à l'Ouest, l'anticlinal (point coté 552) est peu serré (flancs à pendage faible, d'environ 30°) et droit (pendage des flancs identique et donc à plan axial vertical). Le long de la vallée qui recoupe orthogonalement l'anticlinal, affleurent de manière symétrique les couches les plus anciennes (b). Le synclinal et l'anticlinal situés plus à l'Est sont dissymé-

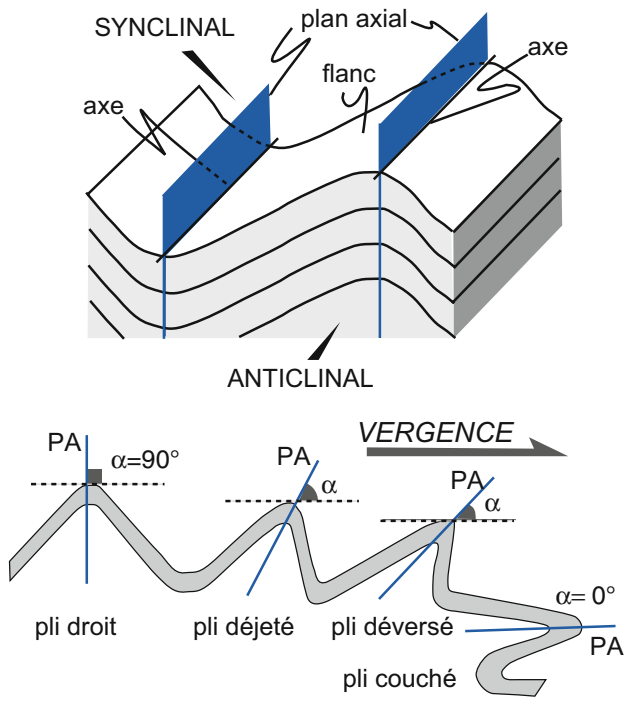



**Figure 4.3** **Structures plissées : terminologie.**

triques (pendage du flanc Ouest plus fort que celui de l'Est) : ils sont déjetés vers l'Ouest. Le synclinal du point coté 613, dont le flanc Est est vertical, se raccorde à un anticlinal fortement érodé, où affleurent les terrains les plus anciens (a) de la région.

– Dans la partie Est de la carte, anticlinaux et synclinaux sont franchement déversés vers l'Ouest ; au niveau du point coté 632 le flanc occidental du synclinal formé de terrains d, a ses couches renversées. Des failles inverses (F1 et F2), à pendage Est, recoupent les flancs des plis déversés. La faille F1, qui traverse la carte du Nord au Sud, est plus importante que la faille F2, localisée au cœur de l'anticlinal le plus à l'Est.

### c) Relation morphologie et structure

Morphologiquement, le relief de la région Ouest est conforme, c'est-à-dire qu'aux anticlinaux correspondent des reliefs hauts (crêtes, monts…), tandis qu'aux synclinaux correspondent des reliefs bas (vallées, combes…). Le synclinal et l'anticlinal médians sont déjà fortement attaqués par l'érosion et leur flanc forme un relief remarquable (crête) dans le paysage (point coté 252).

## 4.3 STRUCTURES FAILLÉES

### a) Définition

Lorsqu'une région soumise à des efforts tectoniques se déforme en se cassant et lorsqu'il se produit un déplacement le long de cette cassure, on est en présence d'une **faille**. Le mouvement d'une faille est toujours défini de manière relative. On se réfère à la disposition des **compartiments** (terrains séparés par la faille) par rapport à la géométrie du plan de faille, pour définir les différents types de failles. Pour toute faille non verticale, le compartiment situé au-dessus de la faille est appelé le **toit** et celui qui est situé au-dessous, le **mur** (fig. 4.5-a). Lorsque le long d'une faille le toit « *est descendu* » par rapport au mur, la faille est dite **normale** ; si le toit « *est monté* » par rapport au mur, la faille est **inverse**

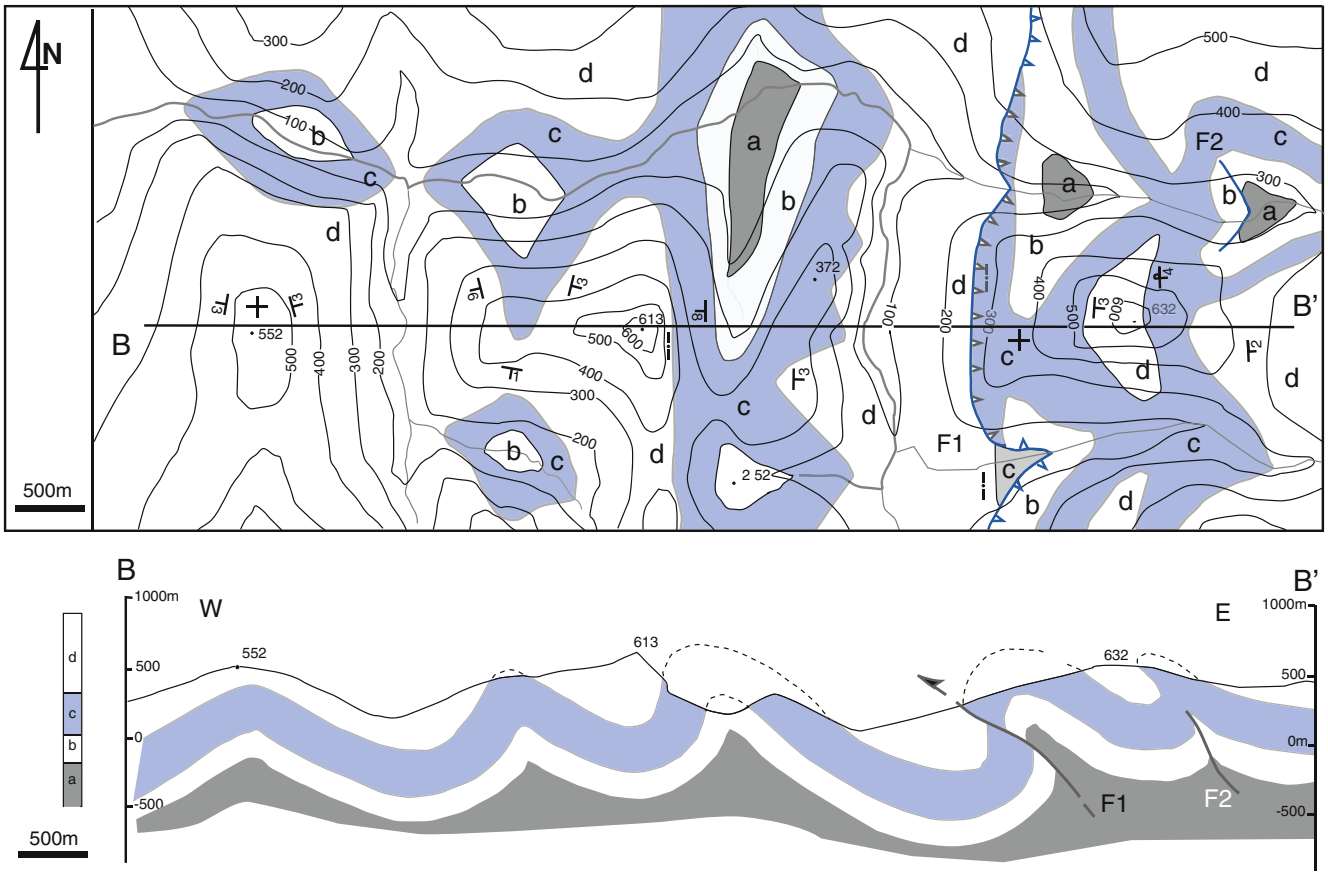



**Figure 4.4** **Structures plissées : carte et coupe schématiques.**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

(fig. 4.5-b). Dans ces deux cas, le mouvement de la faille s'est fait dans le plan vertical. En revanche si le mouvement de la faille s'est produit dans le plan horizontal, la faille est dite **décrochante** et son jeu est **dextre** ou **senestre** selon le mouvement relatif des compartiments vis-à-vis de l'observateur situé sur la faille (fig. 4.5-c). La détermination du type de faille (normale, inverse ou décrochante) se fait à l'aide de **repères r** décalés par le mouvement de la faille ; les couches des séries sédimentaires sont les repères les plus usuels. La connaissance exacte du **rejet** (quantité de déplacement des blocs limités par la faille) est généralement difficile : souvent, on ne peut déterminer que le **rejet apparent** dans le plan vertical ou horizontal d'observation. Les divers types de failles traduisent des conditions de déformation différentes : failles normales = tectonique en extension, failles inverses = tectonique en compression, failles décrochantes = tectonique de coulissement.

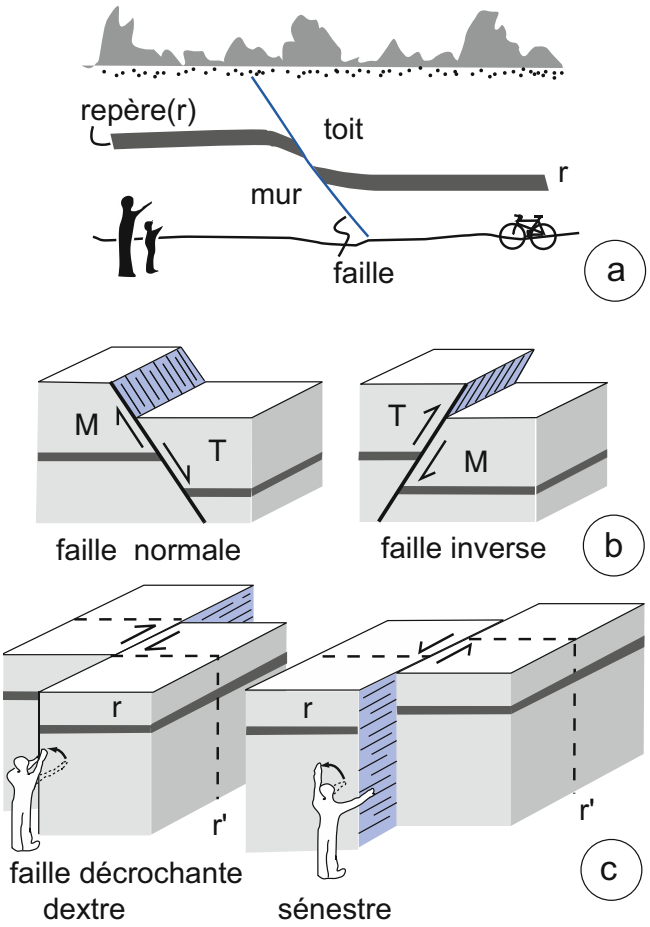



**Figure 4.5** **Failles : terminologie.**

## b) Structures de chevauchement

Les chevauchements correspondent à des surfaces de translation de formations géologiques qui combinent des surfaces horizontales ou **paliers** et inclinées ou **rampes**. La connexion de paliers et de rampes aboutit à former une surface de chevauchement irrégulière. Le déplacement des terrains sur cette surface génère dans son toit des plis de formes particulières, dont la géométrie est tributaire du mécanisme qui crée et localise la surface de glissement. La géométrie de la structure est directement liée à la géométrie de la surface de glissement, notamment à l'orientation et au pendage de la rampe et à son évolution.

À la suite des nombreux travaux entrepris sur le sujet on distingue trois types de **structures élémentaires** :

– le **pli de ceintrage** (*fault-bend fold*), qui résulte de la déformation des roches du toit lorsqu'elles glissent sur le palier inférieur, la rampe frontale puis le palier supérieur (fig. 4.6a) ;

– le **pli de propagation** (*fault-propagation fold*), qui se forme par glissement et flexion des formations du toit en même temps que la rampe se propage vers l'avant et le haut (fig. 4.6b) ;

– le **pli de détachement** (*detachment fold*) qui apparaît par flexion anticlinale des terrains en tête de la surface de chevauchement (fig. 4.6c).

La juxtaposition et l'interaction de plusieurs structures en rampes et paliers conduit à la genèse de formes fort complexes (duplex (fig. 4.6d), systèmes imbriqués (fig. 4.6e), dispositifs rétrochevauchant (fig. 4.6f) et triangulaire (fig. 4.6g).

Initialement conçues pour expliquer des structures formées en contexte tectonique en compression, le même raisonnement a été adopté par la suite pour interpréter des formes nées en contexte extensif.

Les nombreux travaux réalisés dans les années 1980-1990 par les compagnies pétrolières, s'appuyant sur des données de surface et de subsurface (sismique, forages) ont permis d'élaborer des concepts très évolués qui ne seront pas abordés ici. Une modélisation de ces concepts est à l'origine d'une représentation particulière des structures tectoniques en plis en kink (pli à flancs plans et charnière anguleuse), qui n'est pas toujours conforme à ce qui est observé dans la nature.

## c) Expression cartographique des structures faillées

On reconnaît sur une carte la trace d'une faille par son trait qui est plus épais que celui des autres limites géologiques ; lorsque l'existence de la faille est incertaine ou supposée sa trace est en tirets. La nature d'une faille (normale, inverse ou décrochante) est définie si on connaît l'orientation du pendage de la surface de faille – ce qui permet de situer le compartiment représentant le toit et le mur – et si on connaît l'âge relatif des terrains du toit et du mur (fig. 4.7a).

Le décalage cartographique d'un niveau repère au contact d'une faille s'interprète avec précautions, car il existe de vrais et de faux décalages. La figure 4.7b, montre l'influence de l'inclinaison d'une surface repère et du jeu d'une faille sur le décalage de sa trace. L'exemple choisi est celui d'un pli anticlinal érodé recoupé par une faille inclinée : dans les cas (a) et (b) les décalages du niveau repère sont de faux décalages horizontaux et sont associés à des mouvements verticaux de la faille ; seuls ceux du cas (c) sont significatifs d'un jeu décrochant (fig. 4.7b).

On note que les largeurs d'affleurement des compartiments Est (IE) et Ouest (IW) sont différentes dans les deux premiers cas et identiques dans le dernier.

La région représentée sur la figure 4.8 est recoupée par des failles de type très différent.

– À l'Ouest, les failles F1 et F2 sont à pendage opposé (orientation opposée du V de leur trace dans la vallée) ; la faille F1 a un pendage vers l'Est et la faille F2, vers l'Ouest. Le pendage de la faille F1 est plus fort (angle du "V" plus ouvert, ~160°), de l'ordre de 70°, que celui de la faille F2 (angle du "V" ~140-130°), de 50°. Ces failles F1 et F2, ont un toit constitué de terrains plus jeunes (f ou g) que ceux du mur (c ou e) : ce sont de **failles normales**. La direction de la faille F1 est N-S, celle de la faille F2 est NNE-SSW. Symboliquement, les barbules dessinées le long de la trace des failles indiquent la position du toit. L'association de ces deux failles normales crée un **fossé tectonique** (ou **graben**) ; le pendage des couches (g) qui remplissent le fossé montre que celui-ci est asymétrique, le jeu de la faille F est plus important que celui de la faille F.

– Dans la partie centrale, les failles F3 et F4 ont un pendage faible (30-40°) vers l'Est. Le toit de ces failles est formé de terrains plus anciens que ceux du mur : il s'agit donc de **failles inverses**. Le figuré en triangles vides, le long de leur tracé, indique le toit. Le tracé rectiligne de la faille F3, dans le

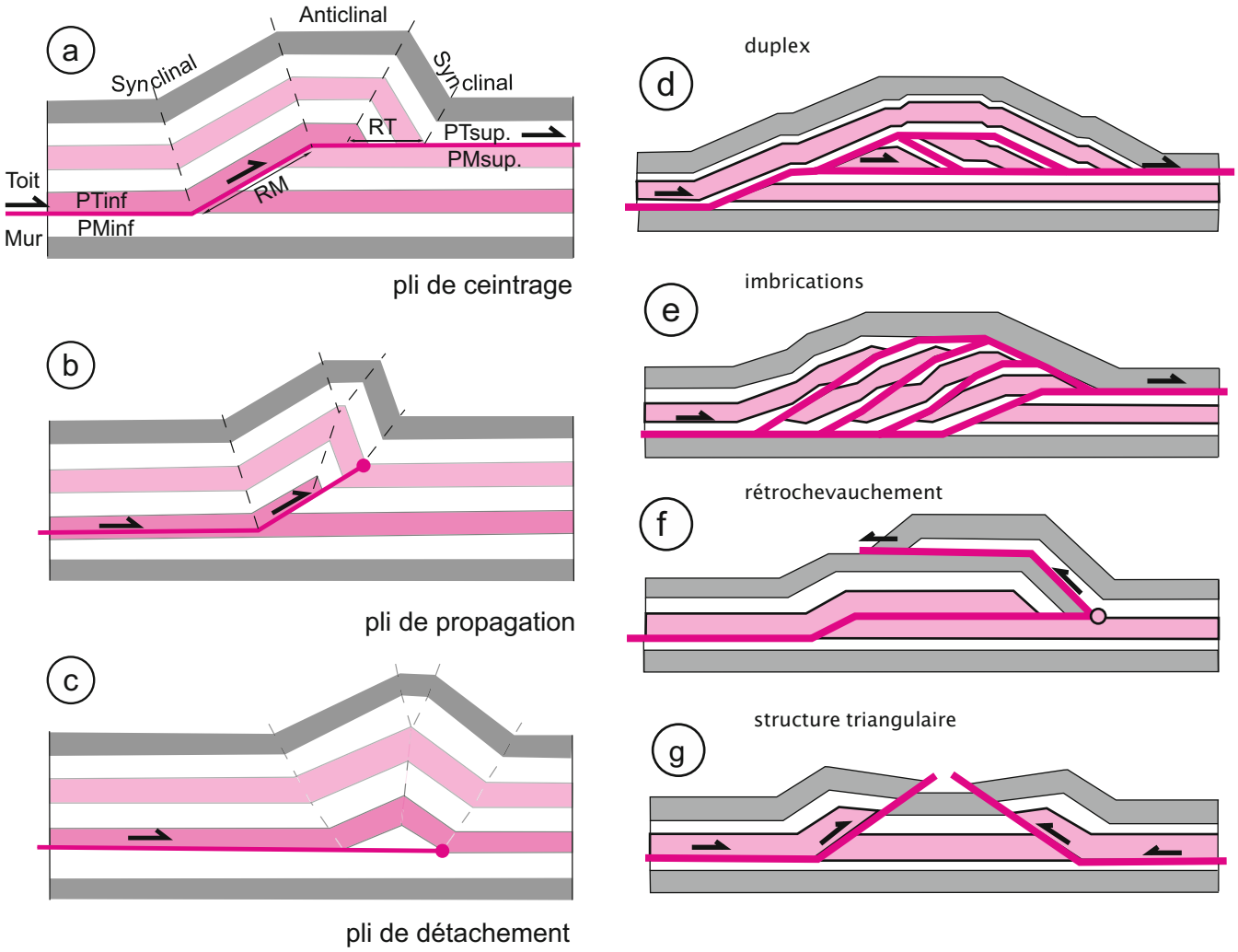



Figure 4.6

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

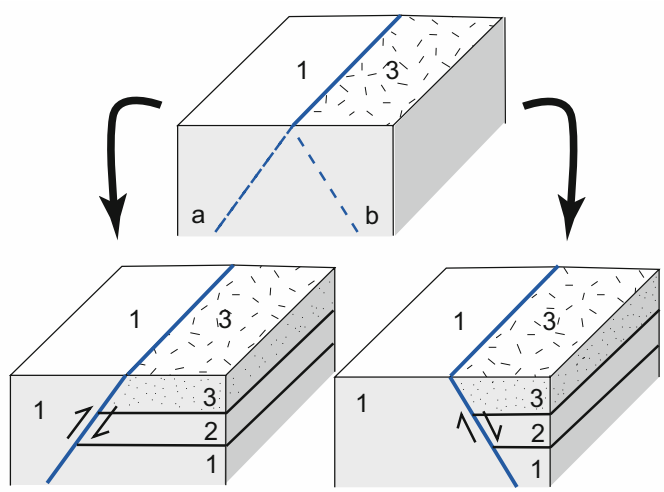



**Figure 4.7a** **Failles : distinction entre faille normale et faille inverse.**

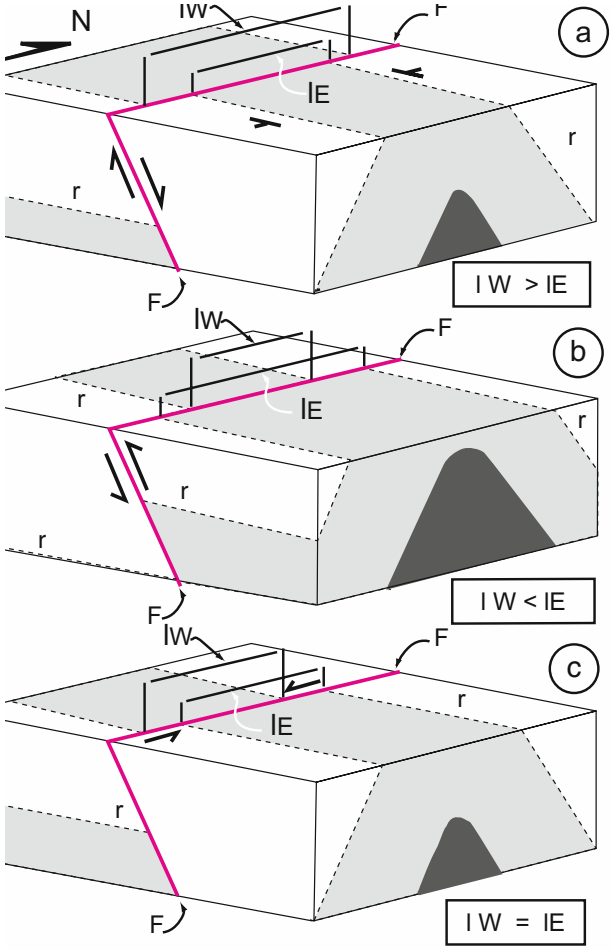



**Figure 4.7b** **Failles : notion de rejet cartographique vrai et apparent dans le cas d'une faille normale (a), inverse (b) et décrochante (c) ; IW : largeur d'affleurement repère à l'ouest et IE, à l'est de la faille.**

fond de la vallée, montre qu'elle est verticale en profondeur ; en revanche le pendage de la faille F4 reste constant vers l'Est.

– À l'Est, une faille (Φ), à pendage très faible à nul, sépare des terrains anciens (a) surmontant des terrains plus récents (b ou c) : il s'agit d'une **faille chevauchante**. La partie chevauchante est appelée **nappe** (N) ; elle est constituée de terrains tectoniquement déplacés dits **allochtones**. Les lambeaux de terrains allochtones (a) isolés au front Ouest de la nappe sont des **klippes** (K) ; ils sont issus de son érosion partielle. Le creusement de la nappe par les rivières forme des fenêtres (F) ou de **demi-fenêtres** (1/2F) où affleurent les terrains non charriés dits **autochtones**. Les figurés triangulaires, le long du trait de la faille chevauchante, sont disposés du côté des terrains allochtones.

– Dans le coin NW de la carte la faille F5 (verticale), orientée ENE-WSW, décale les failles normales F1 et F2. Il s'agit d'une faille décrochante à jeu dextre (le compartiment Nord est déplacé vers l'Est par rapport au compartiment Sud). L'ampleur du déplacement horizontal (coulissement) est de l'ordre de 800 m.

## 4.4 PLUTONISME ET VOLCANISME

### a) Définition

L'activité interne de la Terre s'exprime, entre autres, en surface, par le **volcanisme**. **Cônes** de projections, **dômes** et **coulées** sont autant de structures qui traduisent cette activité (fig. 4.9). Ces structures sont soumises à l'érosion qui les démantèle rapidement en faisant apparaître, parfois de manière spectaculaire dans le paysage, des formes qui soulignent les contrastes de dureté des roches (*dyke, neck, sills*).

Une autre partie de cette activité interne est visible à la surface de la Terre : c'est le **plutonisme**. Des volumes de roches de composition généralement granitique produites lors de la fusion de la base de la croûte continentale, montent vers sa partie supérieure et cristallisent à quelques kilomètres de la surface sous la forme de masses plus ou moins lenticulaires appelées **plutons** (fig. 4.10). Au contact de ces masses dites intrusives, les roches encaissantes sont transformées par effet thermique, sur quelques dizaines à quelques centaines de mètres, formant une **auréole de métamorphisme de contact.**

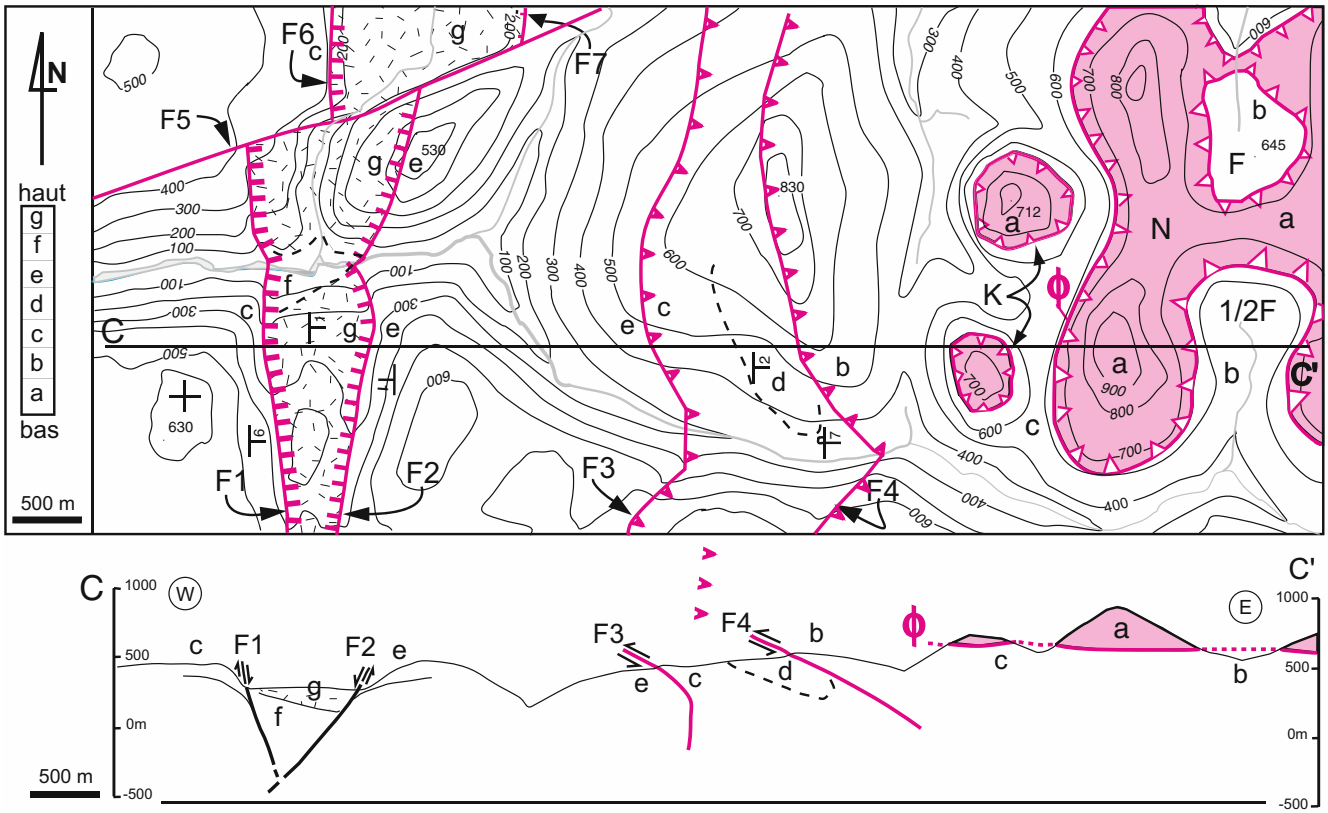



**Figure 4.8** **Failles : carte et coupes schématiques de différents types de failles.**

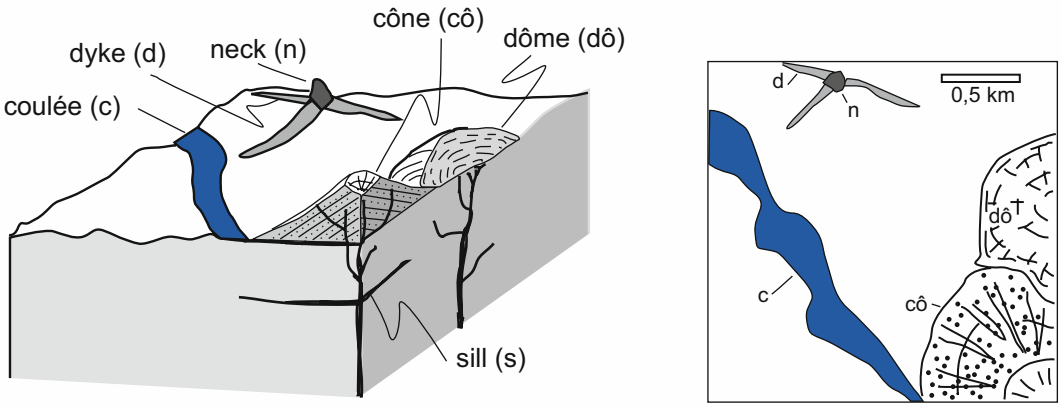



**Figure 4.9** **Quelques formes volcaniques : vue dans l'espace et carte géologique correspondante.**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

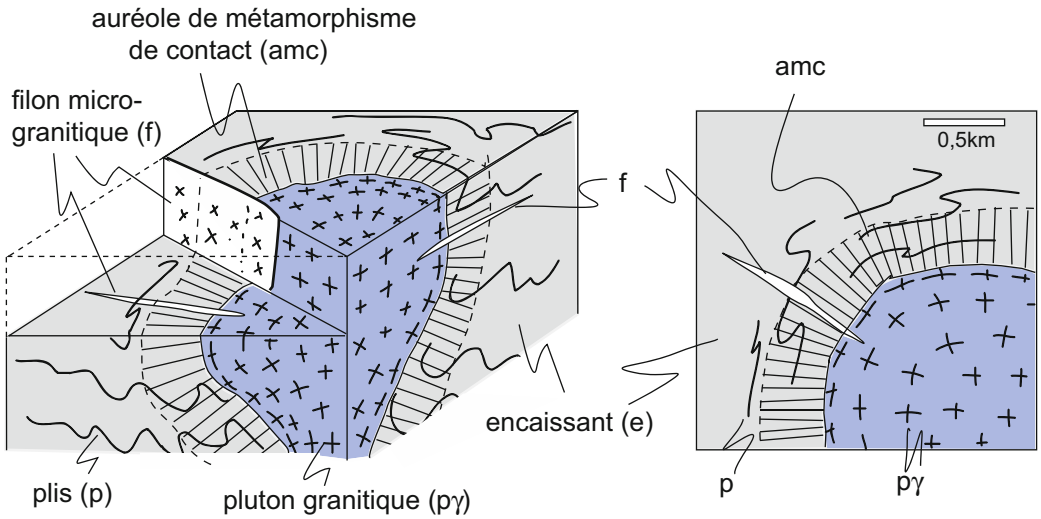



**Figure 4.10** **Structures plutoniques : vue dans l'espace et carte géologique correspondante.**

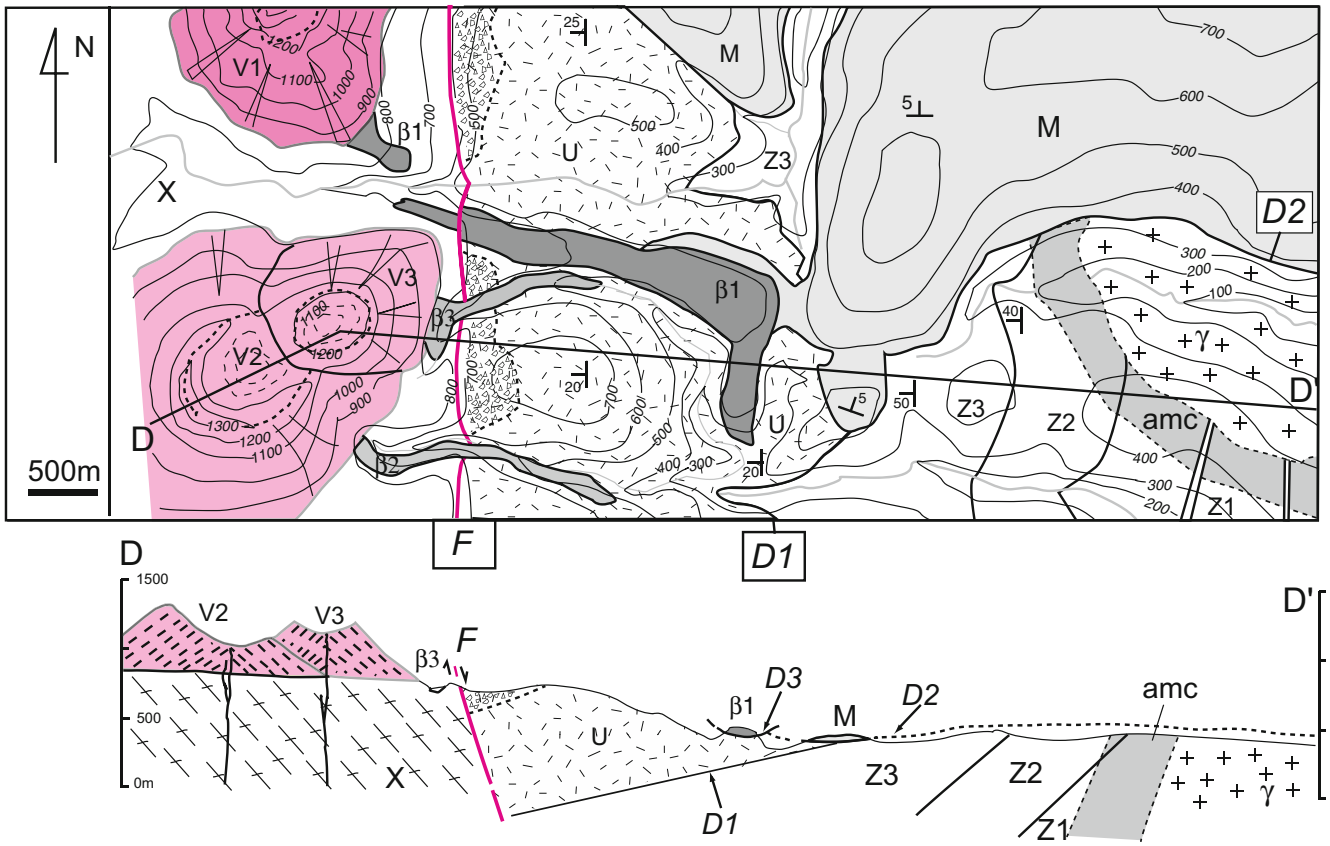



**Figure 4.11** **Structures plutoniques et volcaniques : cartes et coupes schématiques.**

Des **filons** de composition granitique se détachent du pluton et sont intrusifs dans les terrains encaissants. En dégageant les quelques kilomètres superficiels de la croûte continentale l'érosion met à l'affleurement ces roches formées en profondeur.

### b) Expression cartographique des structures volcaniques et plutoniques

– Dans la région Ouest de la carte (fig. 4.11), trois cônes volcaniques reposent sur un socle de roches anciennes métamorphisées (X). Le cône V3 repose en partie sur le flanc du volcan V2 et lui est donc postérieur. Des coulées de basalte β2 et β3 s'échappent de ces cônes ; elles se sont écoulées dans le fond de vallées qu'elles ont partiellement comblées. Du cône V1, situé plus au Nord, s'est échappée la coulée β1 ; elle est située actuellement en position de plateau et elle est en partie érodée, au pied du volcan, par le creusement d'une vallée EW ; cette coulée est donc plus ancienne que les coulées β1 et β2.

– Dans la partie Est de la carte (fig. 4.11), affleure un pluton granitique (γ), entouré d'une auréole de métamorphisme de contact (mc) et de deux filons granitiques N-S et NNE-SSW. Ce pluton est intrusif dans une formation Z, fortement plissée.

### c) Relation morphologie et structure

Un phénomène morphologique appelé **inversion de relief** est à l'origine de la position topographique « haute » de la coulée V1. À l'origine cette coulée s'est épanchée, comme les coulées β1 et β2, dans le fond d'une vallée. L'érosion ayant ensuite décapé les terrains avoisinants plus tendres, la coulée s'est trouvée « perchée », dominant maintenant le nouveau paysage.

## 4.5 CONCORDANCES ET DISCORDANCES

### a) Définition

Lorsque dans un bassin sédimentaire les dépôts se font régulièrement, les couches qui en résultent sont, elles aussi, disposées régulièrement et en continuité (dite stratigraphique) les unes au-dessus des autres : les couches sont disposées en **concordance**. Mais de nombreux phénomènes géologiques sont susceptibles de perturber cet arrangement : les couches sont alors dites **discordantes**. Parmi ces mécanismes, les déformations liées à des phases tectoniques compressives (plis), ou les basculements associés au mouvement de failles normales sont les plus connus. Ces mouvements sont suivis de fortes érosions nivelant les reliefs qui viennent d'être créés. Lorsque de nouveaux dépôts recouvrent les anciennes structures il se forme des **discordances angulaires,** parfois spectaculaires (angle de plusieurs dizaines de degrés entre les dépôts discordants et les terrains sous-jacents). Une reprise de la sédimentation, après une période d'arrêt plus ou moins longue, comme par exemple lors d'une transgression marine sur une plate-forme continentale, est généralement marquée par une disposition en discordance des couches transgressives ; mais la discordance est alors faible (angle de quelques degrés entre la base de la série discordante et la série sous-jacente) : la **discordance** est dite **cartographique** car elle apparaît plus nettement sur la carte géologique que sur le terrain.

### b) Expression cartographique des discordances

– Dans une série sédimentaire où les **couches** sont **concordantes**, une couche quelconque ($n$), repose toujours sur la couche ($n$-1) et elle est toujours surmontée par la couche ($n$+1). Cartographiquement cette relation est facile à établir puisque **les affleurements de la couche ($n$) jouxteront toujours les affleurements de la couche sous-jacente ($n$-1) et sus-jacente ($n$+1), quelle que soit la géométrie de ces affleurements** (fig. 4.12-a).

– Lorsqu'une série sédimentaire n repose **en discordance** sur une série sédimentaire (Jx), la base de la couche la plus ancienne – appelée surface de discordance ou plus simplement la discordance – repose sur des terrains d'âges différents de la série sous-jacente (J1,J2,...,J6) (fig. 4.12-b). Cartographiquement on retrouvera cette propriété : **les affleurements de la couche n, discordante, seront en contact stratigraphique** (contact de dépôt) **avec divers affleurements de la série sous-jacente.**

Des signes de pendages proches, situés de part et d'autre de la discordance montrant des valeurs de pendage et/ou des directions de couches différentes, peuvent préciser l'importance de cette discordance.

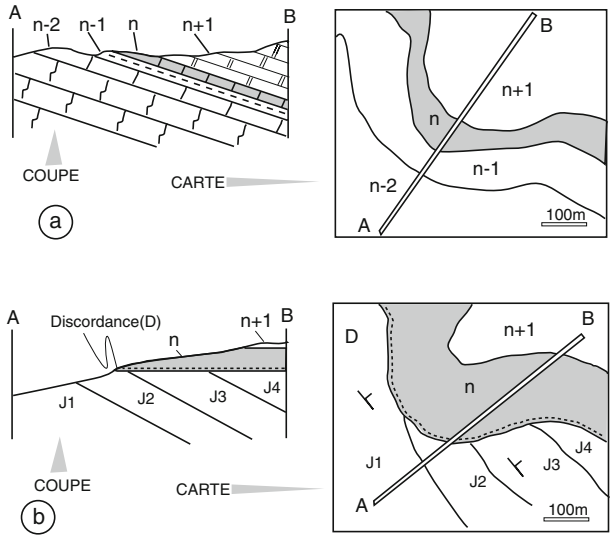



**Figure 4.12** **Concordance (a) et discordance (b) : cartes et coupes schématiques.**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

La nature d'une surface de discordance est toujours un contact d'origine sédimentaire. Elle ne devra pas être confondue avec un contact par faille qui, par nature vient perturber l'agencement originel des formations géologiques. Pour éviter de faire cette confusion on se rappellera que les failles ont un tracé marqué par un trait plus épais que les limites stratigraphiques.

Sur la figure 4.11 plusieurs formations reposent en discordance :

– au centre, la formation U, de direction N-S et à pendage de 20° vers l'Ouest, repose en discordance (D1) à l'Est, sur la série Z extrêmement plissée. En revanche sa limite Ouest avec les vieux terrains X, se fait par l'intermédiaire d'une faille normale N-S, à fort pendage à l'Est ;

– à l'Est (partie Nord), la série sédimentaire M, à faible pendage vers le NE, repose en discordance (D2) sur le granite et son auréole métamorphique, sur la série Z, et sur la formation U ;

– enfin les formations volcaniques (coulées et cônes) reposent elles aussi en discordance sur divers terrains d'âge et de nature très différents leur servant de substratum.

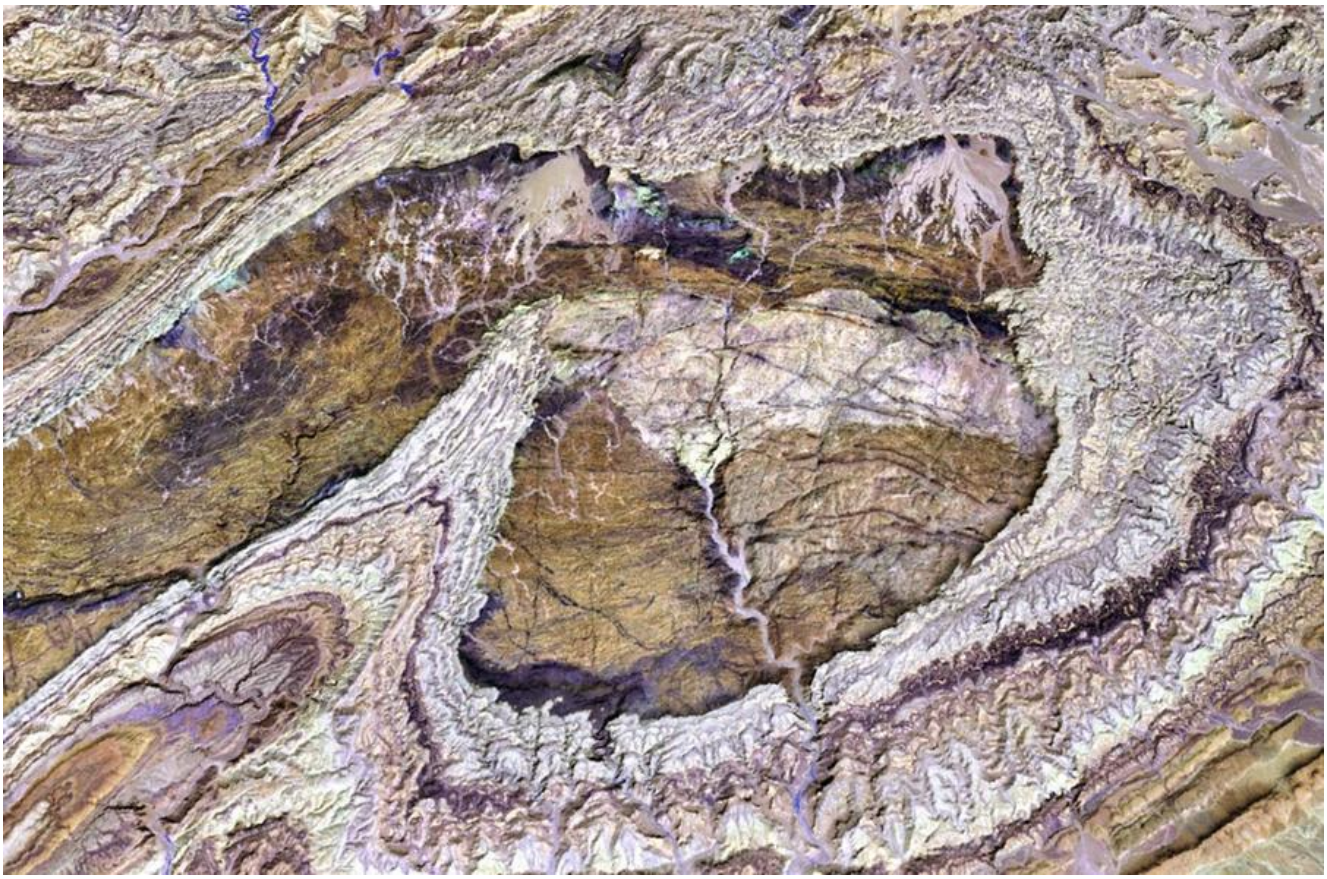


**Figure 4.13 Discordance cartographique dans le sud du Maroc (boutonnière de Tagragra d'Akka, Anti-Atlas) : Image satellite LANDSAT 7.**

La forme singulière de la boutonnière de Tagragra (en forme de masque) résulte de l'érosion d'un ensemble déformé selon deux directions de plis EW et NE-SW. Elle est constituée d'une couverture sédimentaire débutant au Néoprotérozoïque supérieur, passant au Cambrien puis à l'Ordovicien (en gris clair sur la photographie), et d'un socle composite formé de terrains anciens métamorphiques Pan africains (2..0 – 2.2Ga) de teinte principalement gris foncé. La base de la couverture Néoprotérozoïque (540 Ma) repose en discordance sur le socle ancien dont la structuration (foliation) est EW. L'érosion a dégagé préférentiellement les culminations anticlinales et fait apparaître claire cette discordance majeure.

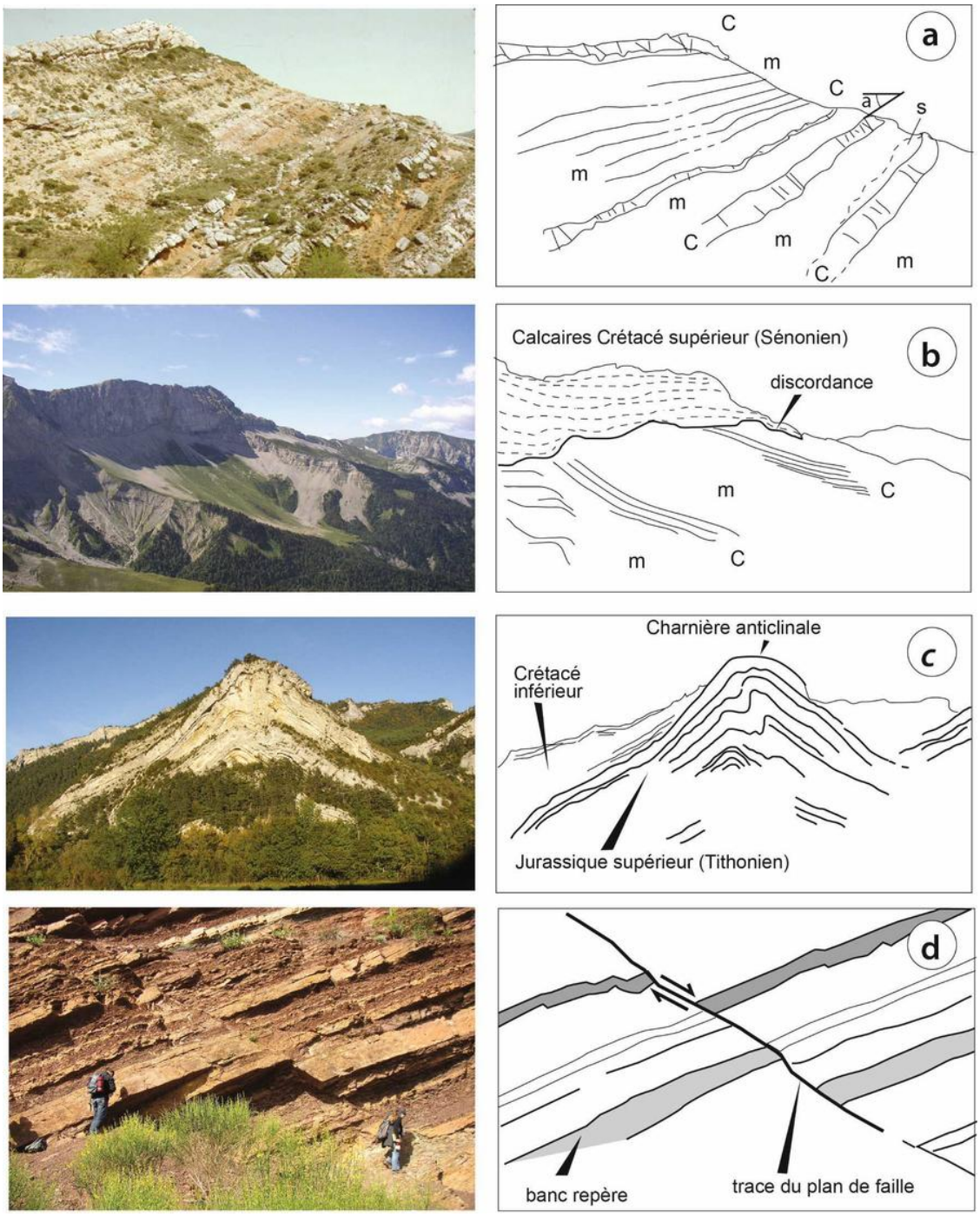



**Figure 4.14 Exemples de structures tectoniques cartographiques :**
**a)** disposition monoclinale de calcaires lacustres (c) et de marnes (m) d'âge Paléocène (Corbières, France) ; α pendage de la série ; **b)** discordance angulaire des calcaires du Sénonien Crétacé supérieur) sur les marnes (m) et calcaires (c) du Crétacé inférieur (Dévoluy, France) ; **c)** pli anticlinal droit affectant les calcaires du Jurassique supérieur (Tithonien), (Dévoluy, France) ; **d)** faille normale décalant les grès et argilites du Permien du bassin de Lodève (Languedoc, France).

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

# Chronologie des événements géologiques

CHAPITRE 5

## 5.1 Introduction

Une carte géologique est une représentation d'objets (couches sédimentaires, dépôts volcaniques, intrusions granitiques…) dont la genèse et l'histoire (plis, failles, discordances…) s'étend sur de très longues périodes. Certes il existe des événements géologiques qui sont brefs à l'échelle de la vie humaine (tremblement de terre, éruption volcanique, écroulement de falaise…) ; ils sont alors souvent catastrophiques. Mais la plupart des phénomènes géologiques se déroulent sur des durées qui dépassent largement le million d'années. La carte géologique permet d'apprécier ce facteur temps et d'estimer la durée des phénomènes aussi bien sédimentaires, tectoniques que magmatiques. Cette dimension temporelle, fait de la carte un outil essentiel dans les sciences de la Terre.

Cependant le temps ne peut être perçu que si l'on a des **repères**. Or ceux-ci sont de nature et d'importances très différentes. Les limites des bancs d'un empilement de couches de même nature sont autant de repères traduisant des discontinuités mineures d'un phénomène géologique continu. Une discordance, en revanche, traduira une interruption et un changement majeur dans les processus géologiques. Ce sont donc des marqueurs de cette nature qui seront recherchés lors de la lecture de la carte, pour établir les étapes principales de l'histoire géologique d'une région.

## 5.2 Les marqueurs de l'histoire géologique

Prenons un empilement de couches sédimentaires, numérotées 1, 2, 3, 4… dans l'ordre de leur dépôt. Si ses couches sont plissées (fig. 5.1) on date la déformation des couches par référence à l'âge de la couche la plus jeune plissée : ici le plissement est postérieur à l'âge de la couche 4 ; on dit qu'il est « post 4 ».

Si ces couches sont recoupées et décalées par une faille (fig. 5.2), le mouvement de cette faille – et donc l'activité tectonique qu'il représente – est postérieur à l'âge de la couche la plus jeune affectée (recoupée et décalée par la faille) : ici elle est postérieure à l'âge de la couche 4 ; on dit aussi qu'elle est « post 4 ».

Dans ces deux cas le phénomène géologique (de nature tectonique) daté, n'est connu que par une seule limite temporelle qui est une limite inférieure. Entre cette limite et le temps présent on ignore précisément quand ce phénomène s'est produit et la datation est peu précise.

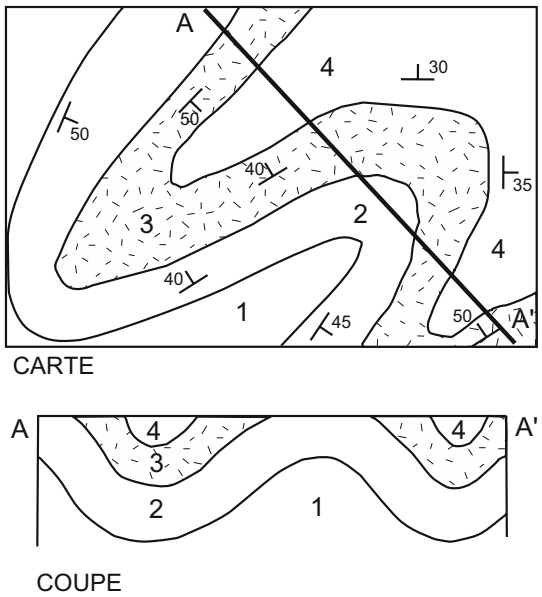



**Figure 5.1** **Structure plissée : coupe et carte schématique.**

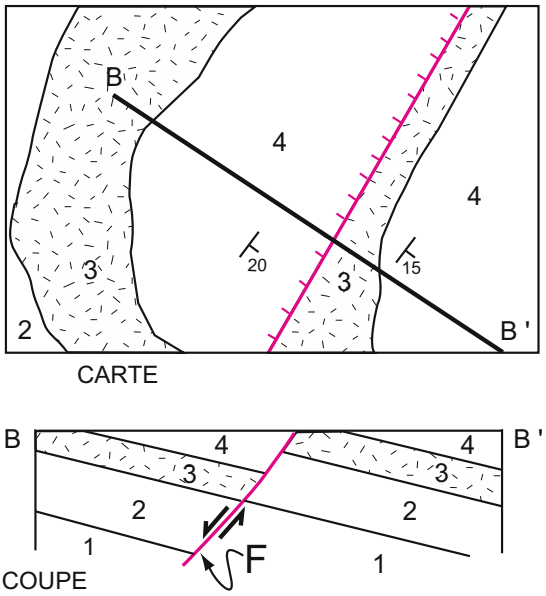



**Figure 5.2** **Structure faillée (faille normale).**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

## a) Notion de cachetage

La superposition de phénomènes tectoniques et sédimentaires permet de préciser l'âge de certains événements.

Si des couches horizontales reposent stratigraphiquement sur des couches plissées (fig. 5.3), l'âge du plissement est plus récent que l'âge de la couche la plus ancienne plissée (ici la couche 4) et plus ancien que celui de la couche la plus ancienne non plissée (ici la couche 6) ; on dit que le plissement est « post 4 et ante 6 ». La couche (6), non plissée, cachète les plis.

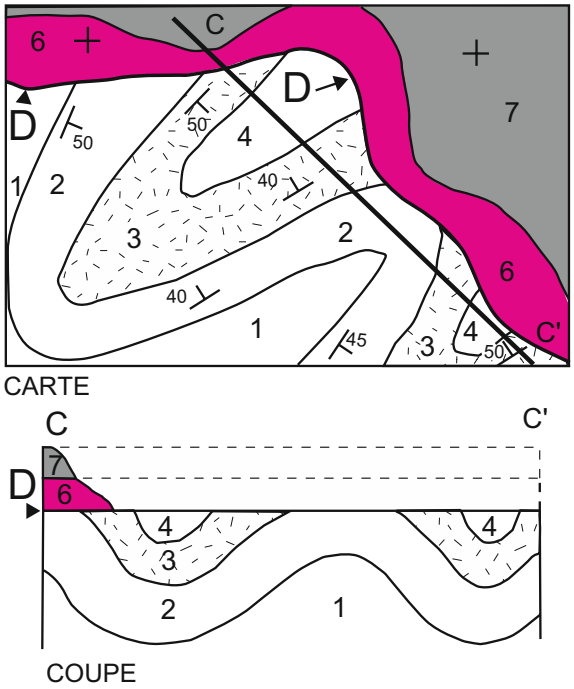



**Figure 5.3** **Plis et série discordante horizontale.**

Le même raisonnement peut être appliqué à des couches faillées (fig. 5.4) : le jeu de la faille (F) est plus récent que la couche 4 (recoupée) et plus vieux que la couche 6 (non recoupée) ; il est « post 4 et ante 6 ». La couche 6, non affectée par le mouvement de la faille, cachète celle-ci.

Dans ces deux exemples il s'est produit une érosion qui a nivelé les reliefs nés lors de l'événement tectonique. Les dépôts post tectoniques reposent en discordance (D), qui est angulaire ou cartographique selon l'importance de l'angle de pendage entre les surfaces repères des deux formations qu'elle sépare (*cf.*§ 4.5). La durée entre l'événement tectonique et le nouveau dépôt défini une fourchette de temps dont l'importance peut être très variable (de quelques centaines d'années ou moins à plusieurs centaines de millions d'années !). La précision de l'âge de cet événement tectonique sera donc directement fonction de la valeur de cette « fourchette ».

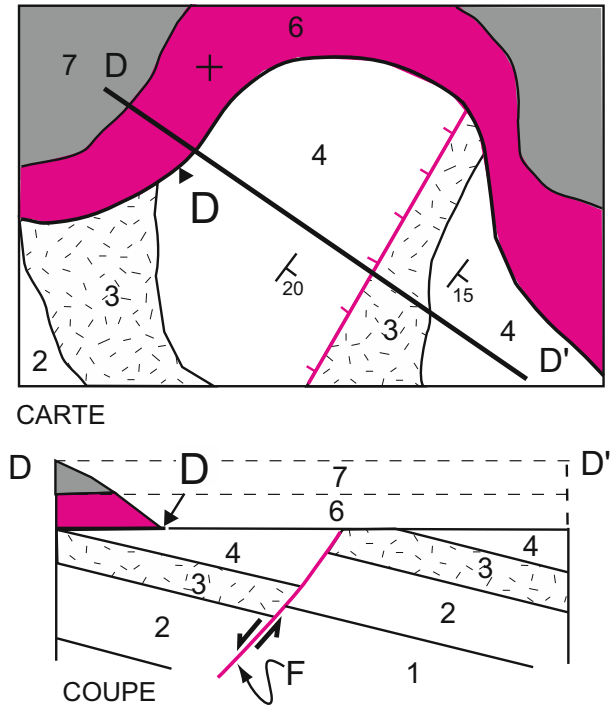



**Figure 5.4** **Série faillée (faille normale) et basculée et série discordante horizontale.**

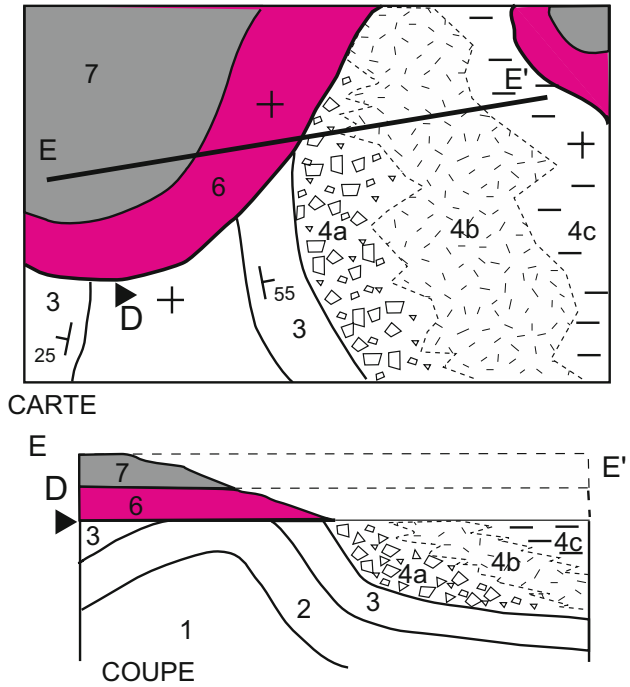



**Figure 5.5** **Série plissée (avec dépôts syn-plissement (4)) et série discordante horizontale.**

## b) Marqueurs syntectoniques

Certains dépôts ou certaines structures sédimentaires peuvent renseigner plus précisément sur l'âge de l'événement tectonique lorsque celui-ci est enregistré dans des dépôts qui lui sont contemporains : ce sont par exemple des accumulations de brèches (formations détritiques grossières à éléments anguleux et volumineux) provenant du relief proche (plis, escarpement de faille…) créé par la tectonique (fig. 5.5 et 5.6). Lorsque ces dépôts appelés *syntectoniques* sont datés ils indiquent clairement l'âge et la durée de l'événement tectonique. Ce dernier peut être nettement plus court que celui indiqué par la fourchette d'âge des terrains affectés et cachetants.

D'une manière plus générale, la succession de plusieurs cycles sédimentaires et tectoniques se traduit par une succession de dépôts, de déformations, de périodes d'érosion, dont on peut retrouver les témoins sur la carte géologique. Il peut s'agir de la succession de plusieurs phases de compression (fig. 5.7) et d'extension (fig. 5.8), ou bien encore de l'alternance de phases de compression et d'extension (fig. 5.9), chacune d'entre elles étant séparées par des périodes d'érosion et de dépôts.

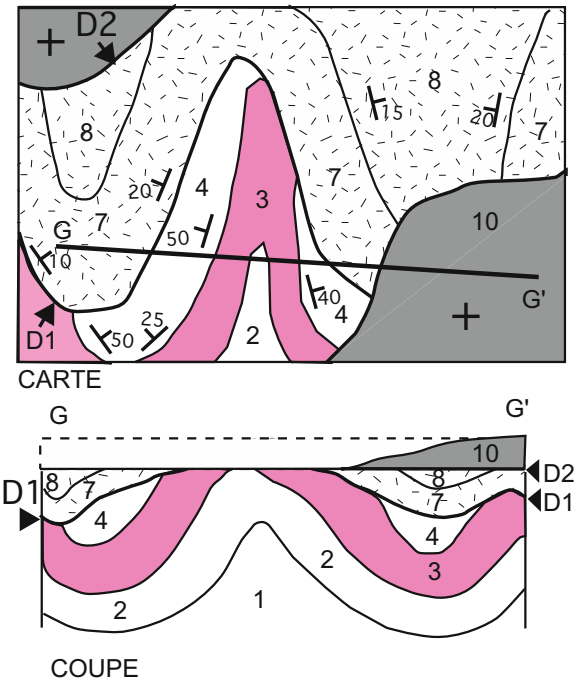



**Figure 5.7** Superposition de deux séries discordantes plissées et d'une série discordante horizontale.

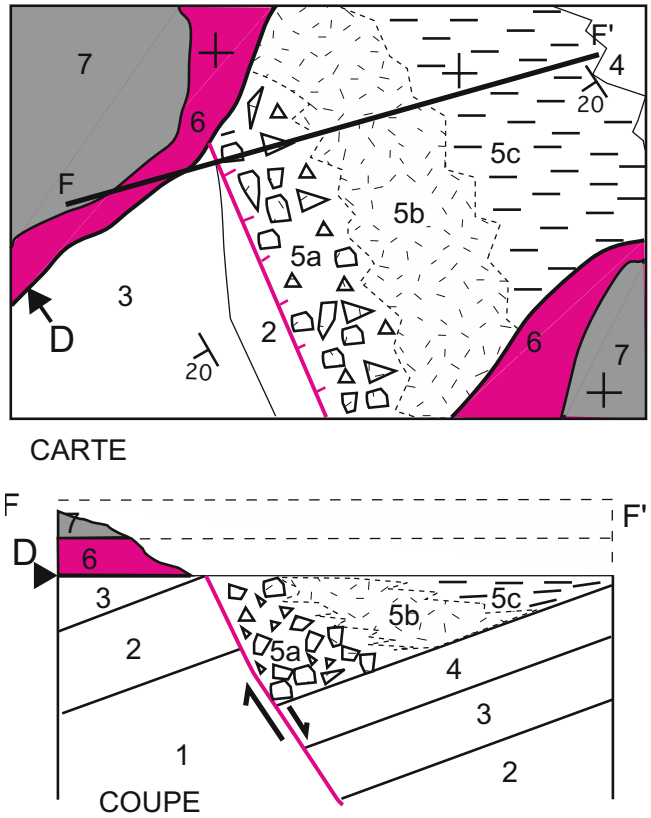



**Figure 5.6** Série faillée (avec dépôts syn-mouvement de la faille (5)) et série discordante horizontale.

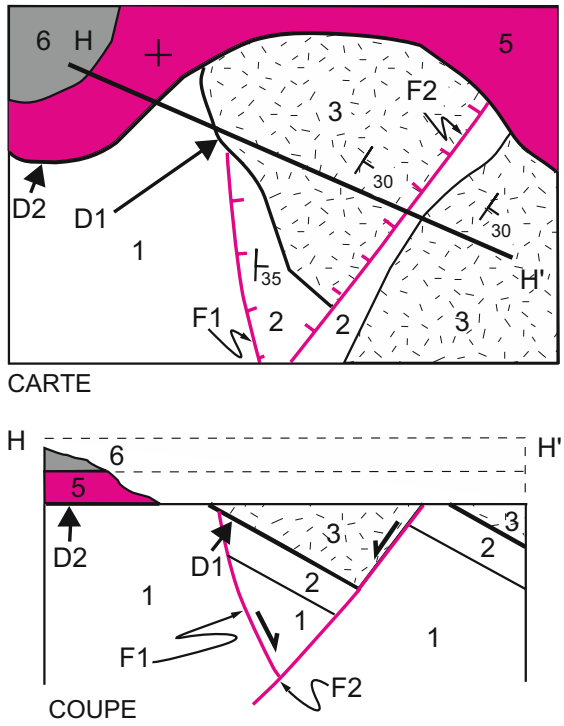



**Figure 5.8** Tectonique polyphasée en faille normale et série discordante horizontale.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

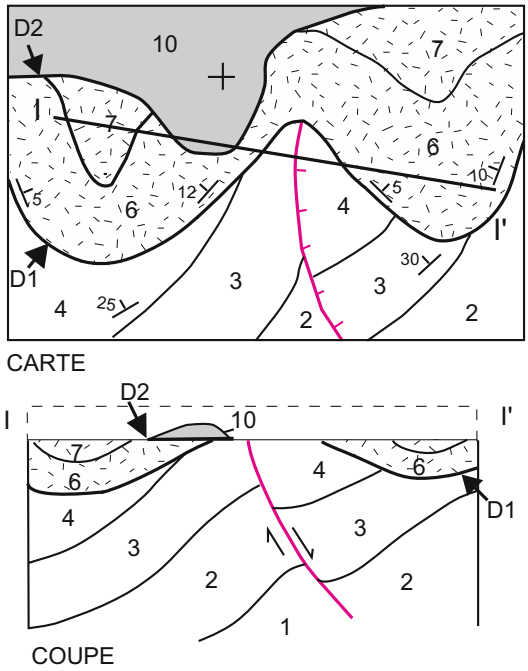



**Figure 5.9** **Tectonique en faille normale, plissement et série discordante horizontale.**

## c) Marqueurs plutoniques et magmatiques

Les formations magmatiques permettent également de reconstituer, à partir des cartes, l'histoire géologique d'une région. Si les édifices volcaniques (cônes, dômes…) sont vite détruits par l'érosion après arrêt de leur fonctionnement, il est toutefois possible de trouver les témoins de l'activité volcanique au moyen des coulées, épanchées en surface, ou encore de *sills* et de *dykes* (fissures remplies de matériel magmatique) mis à jours par l'érosion (*cf.* chap. 4). Les principes de superposition, si utiles dans les séries sédimentaires, sont, dans le cas des coulées et des *sills*, à utiliser avec précaution et l'on doit se référer à la localisation des bordures de refroidissement et de cuisson qui les accompagnent pour s'assurer de leur nature (épanchée ou intrusive).

S'agissant des formations plutoniques, intrusives dans les divers niveaux de la croûte terrestre, leurs relations géométriques avec l'encaissant sont toujours aisément identifiables sur les cartes géologiques ; le contexte chronologique est alors facile à reconstituer. Par exemple les plutons granitiques développent généralement à leur bordure, dans l'encaissant, une enveloppe de roches transformées (auréole de métamorphisme de contact) due à la réaction de ce dernier à l'augmentation de température et de pression accompagnant la mise en place de l'intrusion. Des filons de composition granitique s'échappent du pluton vers l'encaissant. Cartographiquement, ces diverses structures sont facilement repérables (fig. 5.10).

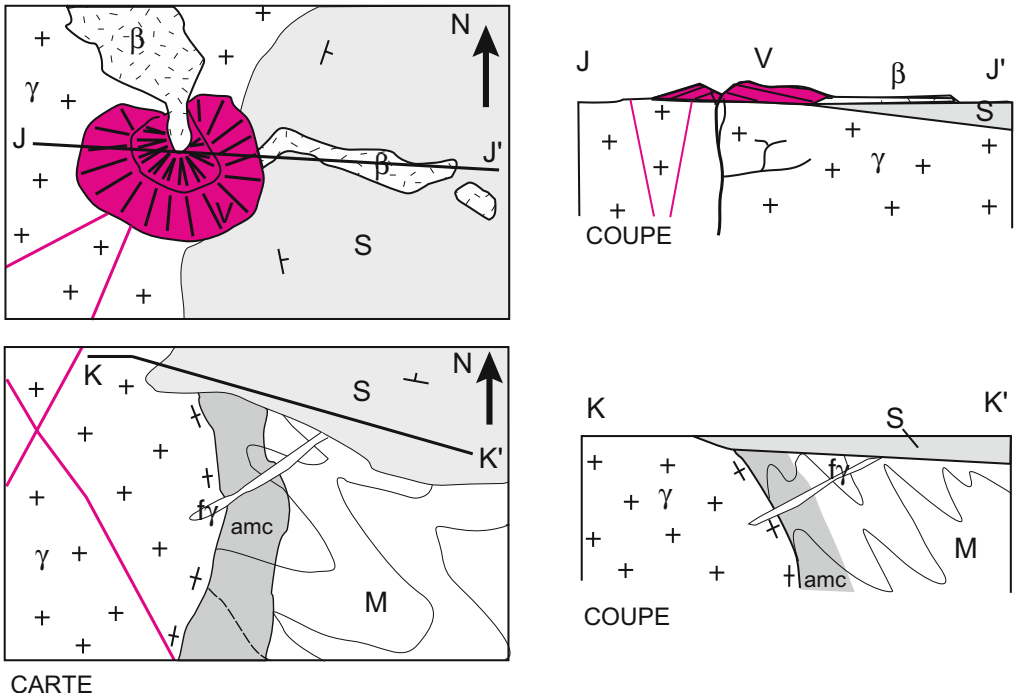



**Figure 5.10** **Marqueurs volcaniques (a) et plutoniques (b) : coupes et cartes schématiques.**

# TÉLÉDÉTECTION ET CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE

CHAPITRE 6

La **télédétection** est l'étude de la surface de la Terre à partir d'images prises au-dessus d'elle. Les premières observations se firent à bord de montgolfières. À partir de la première guerre mondiale, les progrès de l'aviation ont permis l'essor de la **photographie aérienne** aéroportée. Depuis les années 1960, de nombreux satellites d'observation de la Terre ont été lancés, de plus en plus performants. Ils captent des **images satellitaires** de régions plus vastes que celles couvertes par les photos aériennes, et les transmettent au sol. La **définition** de ces images permet de voir des détails de l'ordre de quelques mètres. Les images **panchromatiques** sont sensibles à toutes les longueurs d'ondes du spectre visible et proche. Celles qui n'utilisent qu'une partie du spectre, ou bande spectrale, sont dites images **multispectrales**. Elles ont l'avantage, selon la bande spectrale utilisée, de faire ressortir sur l'image le rôle de facteurs tels que l'eau, la végétation, ou la lithologie (nature des terrains), nécessaire pour l'interprétation géologique d'une l'image satellite. L'imagerie satellitaire est donc utilisée dans des disciplines aussi variées que la géologie, la géographie physique, la biologie végétale, l'agronomie, la météorologie, la climatologie, l'océanographie…

## 6.1 LES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES

En France, les missions de photographie aéroportée sont faites par des avions de l'**Institut Géographique National (IGN)** spécialement équipés pour cela. Les photos sont utilisées par l'IGN pour réaliser ses cartes topographiques, et il est possible d'acquérir des photographies aériennes auprès de l'IGN.

Lever une carte géologique demande un long travail de terrain pour reconnaître les formations géologiques, les échantillonner, rechercher des fossiles, tracer leurs limites d'affleurement (contours). Les **affleurements**, endroits où les terrains sont visibles, sont localisés sur une carte topographique détaillée, la **minute de terrain**, ainsi que les lieux où des observations, prélèvements et mesures sont faits. Chaque formation géologique est cartographiée avec une couleur spécifique. La direction (orientation) des couches et leur pendage sont mesurés à l'aide d'une boussole et de son inclinomètre (fig. 3.1), et reportés sur la minute par un **signe de pendage** (fig. 2.1). Les cartes topographiques au 1/25 000 de l'IGN constituent des fonds adaptés à la plupart des levers de cartes géologiques.

Le travail sur le terrain est parfois gêné par une vue peu dégagée, une végétation abondante ou des déplacements difficiles, et les photos aériennes sont alors très utiles, en montrant le prolongement des structures géologiques. La **photointerprétation**, ou **interprétation photogéologique,** est l'interprétation géologique d'un secteur à partir de photographies aériennes. Les éléments géologiques repérés peuvent être tracés sur un transparent superposé à la photo. Les photos aériennes permettent aussi de préparer le travail sur le terrain, et de vérifier et compléter des observations partielles ou difficiles sur le terrain. Inversement, une interprétation photogéologique demande à être validée par les données de terrain. Les photographies aériennes sont donc nécessaires à la cartographie géologique, leur résolution détaillée et leur échelle y sont bien adaptées.

La qualité de l'information géologique fournie par les photos aériennes dépend du couvert végétal, et de l'épaisseur du sol ou des formations superficielles qui peuvent masquer le sous-sol géologique. La végétation clairsemée des régions méditerranéennes est moins gênante que celle des régions boisées ou cultivées. Mais les variations locales du couvert végétal peuvent aussi refléter des changements géologiques du sous-sol : la végétation est plus abondante sur une formation argileuse humide que sur des calcaires secs.

Deux photos aériennes prises successivement se recouvrent en grande partie. Du fait que l'avion s'est déplacé entre les deux prises de vue, la partie commune aux deux photos est vue de deux points distants, sous des angles différents ; les deux images de cette zone commune sont donc légèrement différentes. En regardant simultanément deux photos successives avec un **stéréoscope** (sorte de loupe binoculaire), chaque œil voit une image différente de l'autre. Comme dans notre vision binoculaire habituelle, les différences des deux images sont interprétées par notre cerveau, qui donne alors du paysage une vision en relief très saisissante. Les points de prise de vue étant assez éloignés, le relief est fortement exagéré. Cette amplification du relief est très utile pour le géologue. Elle permet de se localiser sur la carte topographique, et de déceler de faibles dénivelés topographiques qui peuvent indiquer une limite entre deux terrains dont la résistance à l'érosion est légèrement différente.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

## 6.2 Exemple d'interprétation photogéologique

Le secteur photographié sur la fig. 6.1 se situe dans le nord du bassin de Saint Martin de Londres (Hérault). Il est repéré par un cadre sur la planche 9.15. C'est un extrait de la photographie aérienne n° 831 de la mission 71 FR 2117/150 (© IGN, Photothèque Nationale).

Autour du chaînon de petites collines de Biranques, la région assez basse est drainée par le ruisseau du Lamalou et ses affluents temporaires. Les cultures révèlent un sous-sol labourable, sur des terrains tendres. Les éléments géologiques repérés sur la photo sont reportés sur l'**interprétation photogéologique** (fig. 6.2).

### a) Les formations géologiques

1) Dans le nord et l'ouest de la photo, l'orientation des champs cultivés (N 60° E, c'est-à-dire ENE-WSW) reflète celle des terrains tendres sur lesquelles ils sont installés. Les champs sont séparés par d'étroites bandes sèches et caillouteuses, correspondant à des niveaux rocailleux non cultivables. Ce secteur repose donc sur une série sédimentaire tendre, intercalée de quelques bancs durs (formation A). Le relief est trop faible pour déterminer le pendage des couches dures avec les méthodes exposées dans le chapitre 3. Mais les extrémités parfois incurvées de ces niveaux durs suggèrent un pendage des bancs vers le Sud. Ce pendage est en accord avec celui figurant sur la carte géologique régionale (planche 9-15). La notice de cette carte précise que la formation (A) est une série de marnes marines à intercalations calcaires, datant du début du Crétacé inférieur (Berriasien et Valanginien, n1-2, 135 à125 Ma environ).

2) Dans le versant nord des collines de Biranques, on observe que les bancs calcaires de la série (A) s'interrompent successivement vers le sud-ouest. Ceci indique que le haut de la série A a été enlevé, en léger biseau, par l'érosion. La surface d'érosion a ensuite été recouverte

**Figure 6.1 Photographie aérienne d'une partie du bassin de Saint Martin de Londres (Hérault). Extrait de la photographie n° 831, mission 71 FR 2117/150 (© IGN, Photothèque Nationale).**

par la formation (B). La base de la formation (B) repose donc sur différents niveaux de la formation (A) érodée en biseau. Ces observations montrent donc que la formation (B) repose **en discordance** modérée sur la formation A. La formation B s'élargit vers la droite de la photo, ce qui peut suggérer son épaississement vers l'Est. La légère dépression topographique accompagnant la formation (B) indique qu'elle est constituée de terrains tendres, vulnérables à l'érosion. La teinte grise et unie indique une végétation surtout herbeuse, donc un sous-sol assez humide. La planche 9-15 précise que cette formation (B), appelée "marnes infralutétiennes" (c7 - e4), consiste en dépôts continentaux marécageux d'âge Crétacé supérieur à Éocène moyen (90 à 45 Ma environ).

3) Le hameau de Biranques est installé sur un empilement de couches de roches sèches et incultes, claires sauf sous les buissons de garrigue. La stratification de l'ensemble (C) est localement visible. Ces couches calcaires recouvrent sans discordance apparente les marnes infralutétiennes (B). Plus résistantes à l'érosion, elles arment les modestes reliefs du chaînon des collines de Biranques. Les chevrons que forment les bancs lorsque des ravineaux entaillent la série indiquent un pendage vers le sud. À l'Est de Biranques, les zigzags des couches calcaires montrent la présence de plis d'axes NW-SE. À l'est, les couches sont coupées et décalée par des failles de direction N-S. La planche 9-15 précise que cette formation (C) est faite de bancs de calcaires lacustres déposés durant l'Éocène moyen (Lutétien, e3-5, 45 à 40 Ma

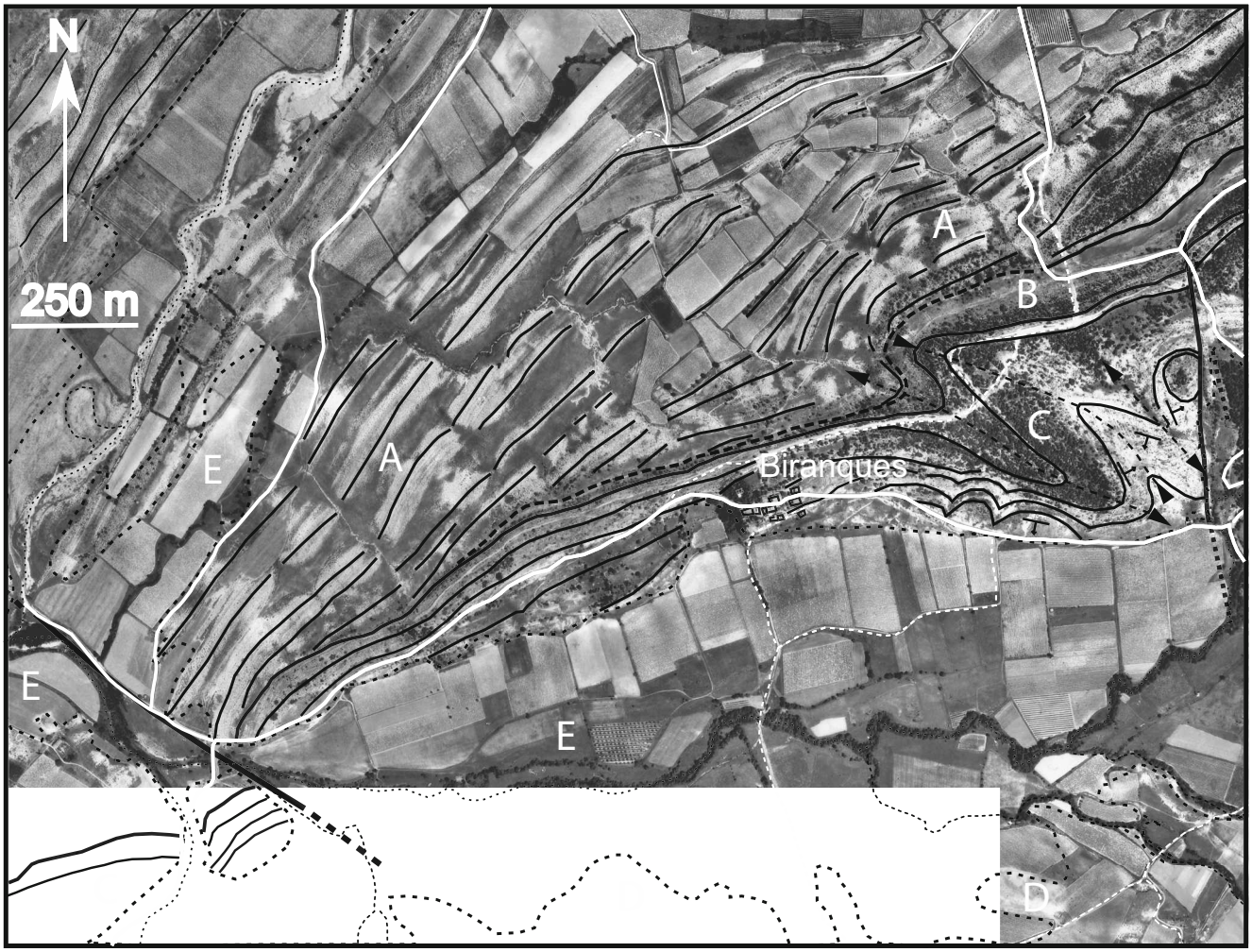



**Figure 6.2** **Interprétation géologique de la photo aérienne de la fig. 6.1. Traits blancs : routes et chemins. Contours noirs : limites de formations géologiques. En tiretés : limites incertaines. A, B, C… : formations géologiques (voir explications dans le texte). Traits noirs : bancs durs et couches géologiques. Traits noirs épais : failles.**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

environ). À l'ouest de Biranques, le ruisseau du Lamalou traverse ces calcaires au Pont du Renard. Le décalage des couches calcaires de part et d'autre du ruisseau suggère qu'une faille passe au niveau du ruisseau. Elle pourrait se prolonger vers le nord-ouest, où les niveaux du Berriasien-Valanginien (A) sont eux aussi déformés.

4) Le sud de la photo montre une formation claire, d'aspect marbré (D). La planche 9-15 indique qu'elle surmonte les calcaires de Biranques (C). C'est un empilement de niveaux d'épandages superficiels continentaux, surtout marneux dans cette partie nord du bassin de Saint Martin de Londres. Ils se sont accumulés pendant l'Éocène supérieur (e 5-6).

5) Les alluvions du Lamalou (E) présentent une surface très plate et une teinte assez homogène. Ce sont des sédiments récents déposés lors des inondations du ruisseau. La cartographie des alluvions et des autres formations superficielles récentes est souvent plus délicate que celle des formations géologiques anciennes. Ces dernières sont attaquées par l'érosion, et leurs limites sont assez nettes. Au contraire, les formations superficielles récentes sont souvent des dépôts minces, pelliculaires, peu étendus. Elles s'amincissent vers leurs bordures, dont la localisation est de ce fait mal définie. Ceci explique leur tracé incertain, en tiretés, sur la figure 6.2.

### b) Les observations tectoniques

#### *Mise en évidence de déformations tectoniques modérées pendant le Crétacé*

Dans le versant nord des collines de Biranques, nous avons constaté que les marnes infra-lutétiennes (B) reposent en discordance sur différents niveaux de la série d'âge crétacé inférieur (A). Cela implique que la série crétacée a subi un basculement vers le sud-est, une émersion et une érosion avant d'être recouverte par les marnes infralutétiennes. Cette discordance montre l'existence d'une déformation tectonique précoce, qui pourrait être à l'origine du changement paléogéographique (émersion) de la région.

#### *Mise en évidence de fortes déformations tectoniques après le Lutétien*

Les dépôts marécageux infra-lutétiens (B) suggèrent un paléopaysage plat et bas. Puis au Lutétien s'installe un lac vaste mais peu profond où se déposent des calcaires (C). Cet environnement calme s'achève pendant l'Éocène supérieur, où le lac est comblé par des épandages continentaux. (D). Ces niveaux sont marneux et tendres dans le secteur de notre photo. Mais dans le sud du bassin de Saint Martin de Londres, c'est un puissant ensemble de niveaux de conglomérats grossiers à gros éléments de calcaires remaniés surtout de l'anticlinal faillé du Pic Saint Loup, qui forme la bordure sud du bassin (cf. Planche 9-15 et coupe géologique). Ces dépôts catastrophiques proviennent du démantèlement actif de reliefs en cours de formation tectonique autour du bassin. Dans le secteur plus calme de Biranques, une tectonique plus modérée bascule, plisse et faille les calcaires lutétiens.

### c) Apport géologique des photographies aériennes

Les photographies aériennes permettent d'étudier des secteurs de plusieurs kilomètres carrés, avec la précision nécessaire à la cartographie géologique. Elles permettent de reconnaître les ensembles lithologiques, le pendage des couches, la présence de failles et de plis. La photointerprétation est utile pour préparer le travail le terrain, ou pour conforter des observations incertaines au sol. Au-delà de la seule géologie, le succès du site d'imagerie Google Earth témoigne de l'intérêt du public pour ce type de vision de la Terre.

## 6.3 Les images de satellites

Les images satellitaires utilisées couramment en géologie couvrent des secteurs de 60 km de côté (images SPOT) à près de 200 km (images LANDSAT). Elles couvrent la surface de plusieurs cartes géologiques au 1/50 000. Leur résolution au sol (5 à 25 m en général) est un peu inférieure à celle des photos aériennes, et cette précision n'est pas toujours suffisante pour permettre une cartographie géologique détaillée. En contrepartie, le secteur couvert par une image satellite est beaucoup plus vaste que celui d'une photo aérienne et permet mieux d'appréhender des phénomènes de dimension régionale.

#### *Interprétation géologique d'une image-satellite spot*

Une image SPOT couvre un secteur de 60 km de côté. La figure 6.3 (page 56) est un extrait d'image SPOT des environs de Ganges et de Saint Martin de Londres (Hérault). Ce secteur contient les extraits de cartes géologiques des planches 9.14 et 9.15, et permet de comparer ce que montre l'image-satellite avec les cartes géologiques.

Contrairement aux photographies aériennes (fig. 6.1 et 2), les images prises par les satellites ne sont pas des clichés instantanés. Elles sont constituées de très nombreux points (pixels) collectés par le balayage de la surface terrestre selon des lignes est-ouest. Pendant que le satellite tourne autour de la Terre dans le plan de son orbite, nord-sud, la Terre tourne sur elle-même autour de son axe de rotation nord-sud. Le temps de balayer une ligne de points, et la Terre a légèrement tourné sur elle-même. Aussi les extrémités d'une ligne de balayage sont légèrement décalées par rapport à celles de la ligne précédente, et ce décalage se reproduit à chaque nouvelle ligne. Les extrémités des lignes de balayage s'alignent sur des lignes qui constituent les bords droit et gauche de l'image satellite. Ceux-ci ne sont donc pas nord-sud, mais légèrement obliques sur les méridiens terrestres. Ainsi une image satellite entière n'est pas un

rectangle mais un parallélogramme. Sur l'extrait d'image de la figure 6.3, qui lui est rectangulaire, cette distorsion de l'image se manifeste par une légère déviation de l'orientation des structures géologiques. Pour corriger cet effet, la flèche indiquant le nord géographique sur les figures 6.3 et 6.4 est oblique.

La figure 6.4 est une interprétation structurale de cet extrait d'image SPOT. Le secteur est traversé obliquement par un grand faisceau de failles bien visible, de direction NE-SW, appartenant au système de failles des Cévennes, qui coupe la région sur 150 km de long de la vallée du Rhône à la Montagne Noire.

Différents critères permettent de reconnaître les failles sur les images. Elles sont souvent longues et de direction régulière. Par leur décalage, elles peuvent juxtaposer des formations géologiques différentes, les mettre en contact anormal. Elles peuvent aussi interrompre et décaler les contours des couches sédimentaires.

Les couches sédimentaires se caractérisent par leurs contours d'affleurement souvent sinueux et parallèles entre eux. Ils représentent l'intersection des couches avec la surface d'érosion du sol (voir chapitre 3). Leur dessin dépend surtout de deux facteurs. Le premier est de nature structurale, si les terrains ont été basculés ou plissés par la tectonique. C'est le cas des plis de direction N 80° situés dans le sud du bassin de Saint Martin de Londres, au nord de la faille du Pic Saint Loup (planche 9.15). Au sud de la faille du Pic Saint Loup, des contours en pelure d'oignon signalent l'érosion des couches du cœur de l'anticlinal du Pic Saint Loup. Au centre de la structure, des terrains cultivés clairs sont installés sur les couches les plus profondes visibles, des argiles du Lias. L'identification des structures plissées par les contours des couches est d'autant plus facile sur une image que la topographie est plane.

Le second facteur qui influence le dessin des contours stratigraphiques est le relief. Des couches horizontales peuvent présenter des contours complexes si elles sont entaillées par le réseau hydrographique. C'est le cas dans le nord-ouest de la figure, où les vallées de la Vis et de ses affluents sont fortement encaissées dans la série tabulaire des calcaires jurassique du Causse.

Les nuances de gris de la végétation renseignent indirectement sur la nature du sous-sol : les terrains argileux, humides et tendres (d'âge Crétacé inférieur à Oligocène surtout) peuvent êtres cultivés et leurs teintes sont plutôt claires. Les calcaires secs et rocailleux sont le domaine de la garrigue et des forêts, plus sombres. C'est le cas du Causse du Larzac, des massifs de la Séranne, et de l'anticlinal érodé du Pic Saint Loup, dont seules les couches verticalisées du flanc nord qui ont résisté à l'érosion arment la crête (planche 9.15).

La comparaison de cette image aux extraits de cartes géologiques de la même région montre l'intérêt de la télédétection pour préparer un travail de cartographie sur le terrain. Dans de nombreuses régions du globe difficilement accessibles, la cartographie géologique a été faite en grande partie par télédétection, et même en totalité pour les planètes telluriques (rocheuses) de notre système solaire.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

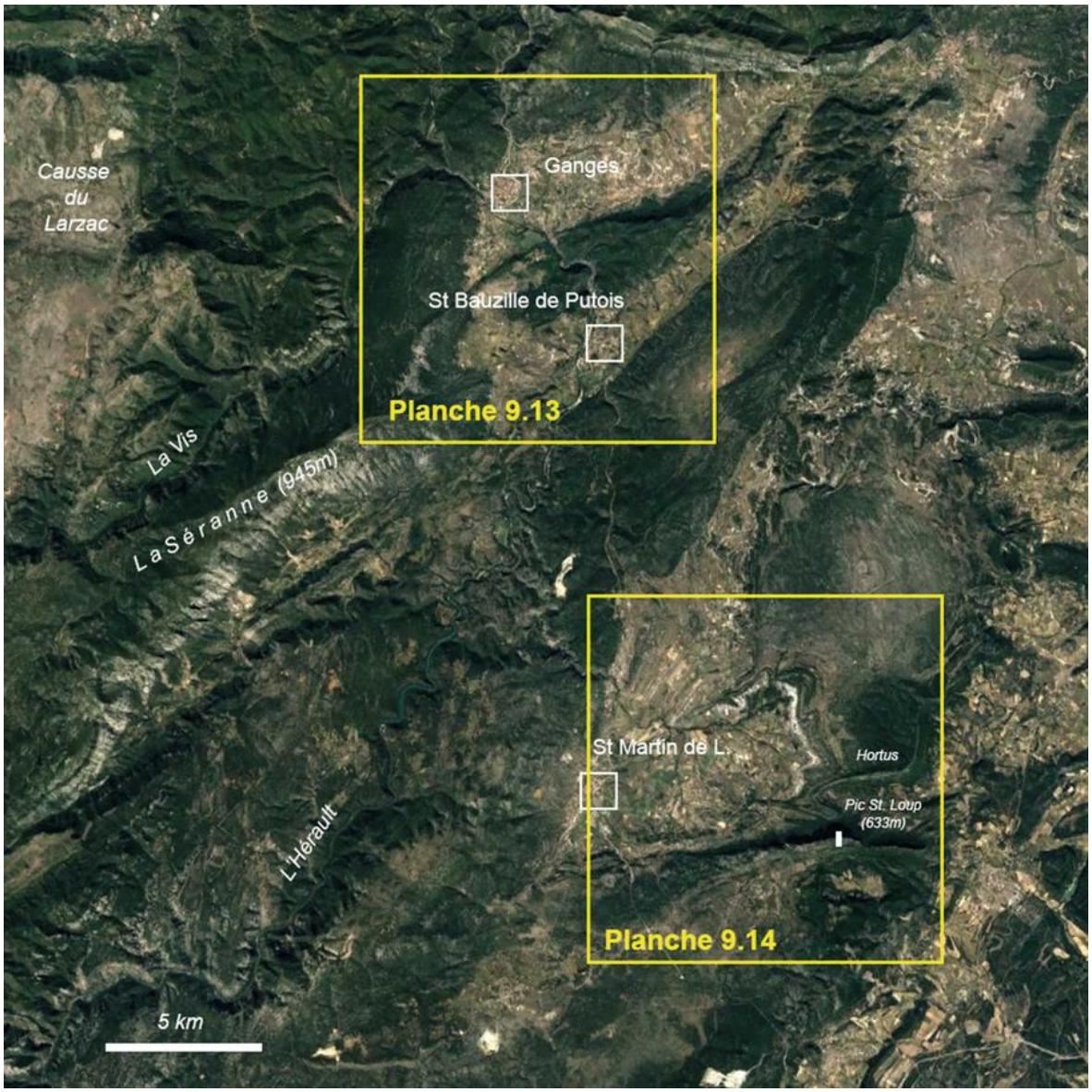



**Figure 6.3** **La figure 6.3 montre une partie d'une image Landsat/Copernicus du Languedoc. Elle contient les régions couvertes par les planches 9.13 (Faille des Cévennes) et 9.14 (St. Martin de Londres).**

**Figure 6.4** La figure 6.4 est l'interprétation structurale de l'extrait de l'image Landsat de la figure 6.3. Elle montre le faisceau de faille de Cévennes (quadrant NW) et le bassin de St. Martin de Londres (au SE).

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

# LA COUPE GÉOLOGIQUE

CHAPITRE 7

Le géologue s'intéresse à la disposition des terrains en surface, mais aussi à leur prolongement en profondeur, que ce soit pour la connaissance académique des structures ou dans des buts appliqués : recherche pétrolière, minière, creusement de tunnels… Or il ne dispose souvent que de la carte géologique, qui est un document plan, horizontal. L'examen de la disposition des terrains sur la carte permet d'y localiser les plis, les failles et les chevauchements, mais ne peut donner d'image précise de la structure des terrains en profondeur. La construction de **coupes géologiques** dans des plans verticaux est une technique qui permet de restituer les structures en profondeur à partir des cartes ; elle est indispensable dans la formation de tout géologue, quelle que soit sa spécialité. Ce chapitre présente les principes de base de construction de coupes géologiques dans des terrains sédimentaires horizontaux, inclinés, plissés et faillés. Des exemples de coupes géologiques à partir d'extraits de cartes réelles sont donnés dans le chapitre 9.

## 7.1 PRÉPARATION ET PRÉSENTATION DE LA COUPE

### a) Choix de l'emplacement d'une coupe sur la carte géologique

Sur une carte en **structure plissée**, pour montrer la forme réelle des plis en section, la coupe doit être orientée perpendiculairement aux axes des plis, c'est-à-dire à la direction générale des couches dans les flancs des plis sur la carte. L'emplacement du **trait de coupe** sur la carte sera choisi dans un secteur représentatif des structures de la carte. Pour bien contraindre la coupe, on recherchera une zone riche en informations comme les signes de pendage, ou les relations géométriques entre topographie (courbes de niveau) et limites de terrains ou accidents tectoniques, qui permettent d'estimer les pendages de ces éléments (voir chapitre 3).

On évitera les secteurs à petites complications tectoniques locales si elles ne sont pas utiles, ou ceux trop largement recouverts de formations superficielles récentes qui masquent les terrains auxquels on s'intéresse.

En **structure monoclinale**, la coupe est généralement orientée dans la direction du pendage d'ensemble des couches.

En **structure tabulaire horizontale**, le choix de l'emplacement et de l'orientation de la coupe est plus libre.

### b) Mise en page du document

La coupe est réalisée sur une bande rectangulaire de papier millimétré, plus longue que la coupe afin de placer à droite de celle-ci la colonne lithostratigraphique, qui est la légende des terrains rencontrés (voir plus loin).

Le **profil topographique**, tracé du relief le long de la coupe, sera placé vers le tiers supérieur de la bande, pour garder de la place au-dessus du profil afin d'y noter : le titre de la coupe, la **toponymie** (noms des reliefs, cours d'eau, agglomérations, points cotés et autres éléments de repérage). **L'orientation** de la coupe sera indiquée par des lettres à ses deux extrémités (fig. 1.2).

À droite de la coupe, à la même hauteur et à la même échelle, la **colonne lithostratigraphique** constitue la légende des terrains rencontrés dans la coupe, avec les mêmes **figurés**. Ceux-ci, conventionnels, seront choisis pour représenter au mieux la **lithologie**, c'est-à-dire la nature des terrains (voir la planche d'exemples de figurés).

Il est parlant de figurer le bord droit de la colonne comme une falaise érodée : les surplombs et les rentrants marquent les différences de résistance à l'érosion des différentes roches, caractère généralement visible dans la topographie de la carte géologique et sur le profil topographique par la correspondance des terrains durs avec des crêtes ou des pentes fortes, et des roches tendres avec des zones basses.

À droite de la colonne, au bout de traits de rappel disposés en éventail, les indices et noms d'étage des formations, figurant dans la légende de la carte, donneront l'échelle **stratigraphique**, c'est-à-dire l'âge des terrains de la coupe (voir tableau stratigraphique chapitre 2).

Enfin, **l'échelle des distances** sera donnée sous forme **graphique** : par exemple, en notant « 500 m » au-dessus d'un trait d'un centimètre de long pour les cartes au 1/50 000. Ce type d'échelle reste juste si le document est agrandi ou réduit. Rappelons que c'est seulement en structure tabulaire, si le relief est faible et les terrains peu épais que l'on peut envisager de dilater l'échelle verticale, mais le relief sera exagéré. En structure monoclinale et à plus forte raison plissée, il ne faut pas le faire : les pendages seront exagérés, les épaisseurs des couches varieront et les formes des plis seront faussées.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

## 7.2 Réalisation du profil topographique

### a) Matériel

Sur une carte au 1/50 000, 1 mm représente 50 mètres. Dessiner avec cette précision demande un bon matériel : un crayon de dureté moyenne (H ou HB selon les marques), qui sera fréquemment taillé ; à défaut, un porte-mine de diamètre 0,5 mm au maximum. Pour gommer avec précision, on coupera dans une gomme un morceau pointu à l'aide d'un cutter.

La finition de la coupe pourra se faire à l'aide de stylos à dessin à encre de Chine, de différents diamètres : fin pour les figurés, moyen pour les limites de terrains, plus épais pour les contacts tectoniques.

À l'avenir la finition des coupes se fera sans doute sur ordinateur : dès à présent, la maquette d'une coupe peut être numérisée à l'aide d'un *scanner*, et sa finition réalisée avec un logiciel d'illustration graphique. Ce procédé a été utilisé pour les coupes du chapitre 9.

### b) Réalisation

On examinera d'abord la topographie sur la carte le long du profil, en repérant les endroits où le sens de la pente s'inverse : on cochera en haut du papier millimétré la position des fonds de vallées par un signe « v » et des lignes de crêtes par « ^ ». On notera aussi les altitudes des points cotés, et des points les plus hauts et les plus bas du profil.

Sur la gauche du papier millimétré, on tracera une échelle des hauteurs correspondant au dénivelé du profil : pour une carte au 1/50 000 dont l'équidistance des courbes de niveau est de 10 mètres, chaque ligne horizontale du papier correspond à une courbe de niveau maîtresse, soit 50 m de dénivelé (fig. 7.1). Si l'équidistance est de 20 mètres, les courbes maîtresses sont tous les 100 mètres, soit 2 mm.

Aligner le haut de la bande de papier millimétré le long du trait de coupe, et cocher précisément les points d'extrémités de la coupe.

Sur une carte au 1/50 000, au point de rencontre d'une courbe de niveau maîtresse et du trait de coupe (bord du papier), descendre le long de la ligne verticale du papier millimétré et placer un point sur la ligne horizontale correspondant à l'altitude de la courbe de niveau.

Attention aux parois rocheuses verticales ou à pente forte marquées par des figurés de rochers ! les courbes de niveau n'y sont pas tracées. Le dénivelé de la paroi est alors la différence d'altitude entre la courbe de niveau au-dessus de la paroi et celle qui passe à son pied (fig. 7.1 et 1.6).

Une fois placés les points du profil correspondant aux courbes de niveau maîtresses, aux fonds de vallées et aux lignes de crêtes, on dessine le profil topographique en joignant ces points par une ligne continue naturelle (sans segments de droites). Entre deux courbes de niveau maîtresses, les courbes de niveau ordinaires peuvent aider à préciser le tracé du profil. À la fin de la coupe, les points de construction du profil ne doivent plus se voir.

Une fois le profil tracé, indiquer au dessus son titre, son orientation, la toponymie (noms de lieux, rivières, sommets), les points cotés. Si ce profil doit servir à réaliser une coupe géologique, on peut attendre qu'elle soit achevée pour le faire.

Le profil topographique doit être dessiné avec un maximum de précision, au risque d'induire des erreurs ou des difficultés dans la réalisation de la coupe géologique.

## 7.3 La coupe géologique

### a) Préliminaire

De vastes régions de France et du monde sont constituées de **formations sédimentaires**. Elles peuvent être restées **tabulaires** (subhorizontales), comme dans le Bassin Parisien (planche 9.1) si elles n'ont pas été sensiblement déformées depuis leur dépôt. Mais elles peuvent être plissées et faillées là où, du fait de la tectonique des plaques, elles ont subi des contraintes tectoniques, donnant naissance à des chaînes de montagnes (Alpes et Jura, Pyrénées) ou des fossés d'effondrement (Alsace, Limagne).

Les formations sédimentaires sont les plus favorables à la réalisation de coupes géologiques, car :

– sur le terrain, ces séries d'épaisseur souvent assez régulières à l'échelle d'une carte peuvent être subdivisées en sous-ensembles superposés en fonction de leur nature ou **lithologie** (grès, calcaires), de l'aspect de la roche ou **faciès** (grès fins ou grossiers), de leur contenu fossilifère (**paléontologie**) qui permet souvent de bien les dater et les attribuer à des **étages** géologiques. La base et le sommet de ces sous-ensembles, repérables sur le terrain, sont les limites de formations, ou limites géologiques, qui sont tracées sur la carte géologique. Leur sommet (toit) et leur base (**mur**) sont sensiblement parallèles, et fournissent de bons repères pour la construction de la coupe ;

– sur le territoire français, la majorité des dépôts sédimentaires sont marins. Ce sont souvent les couches les plus continues et régulières, car leurs conditions de dépôt ont été constantes sur de plus vastes surfaces que les séries continentales lacustres ou fluvio-lacustres déposées dans des paysages moins étendus. Les **épaisseurs des terrains**, nécessaires pour construire les coupes géologiques, sont indiquées dans la notice de la carte ;

– si des formations présentent des **variations latérales d'épaisseur**, elles sont signalées dans la notice et se voient parfois sur la carte même ;

– dans les **structures plissées**, le **pendage** ou basculement des couches par rapport à l'horizontale se mesure sur le terrain (fig. 3.1 à 3.3). Sur la carte, il est noté par un **signe de pendage** (fig. 2.1). Très utiles pour la précision des coupes, surtout lorsque la valeur de l'angle de pendage est précisée, ces signes sont trop rares sur de nombreuses cartes.

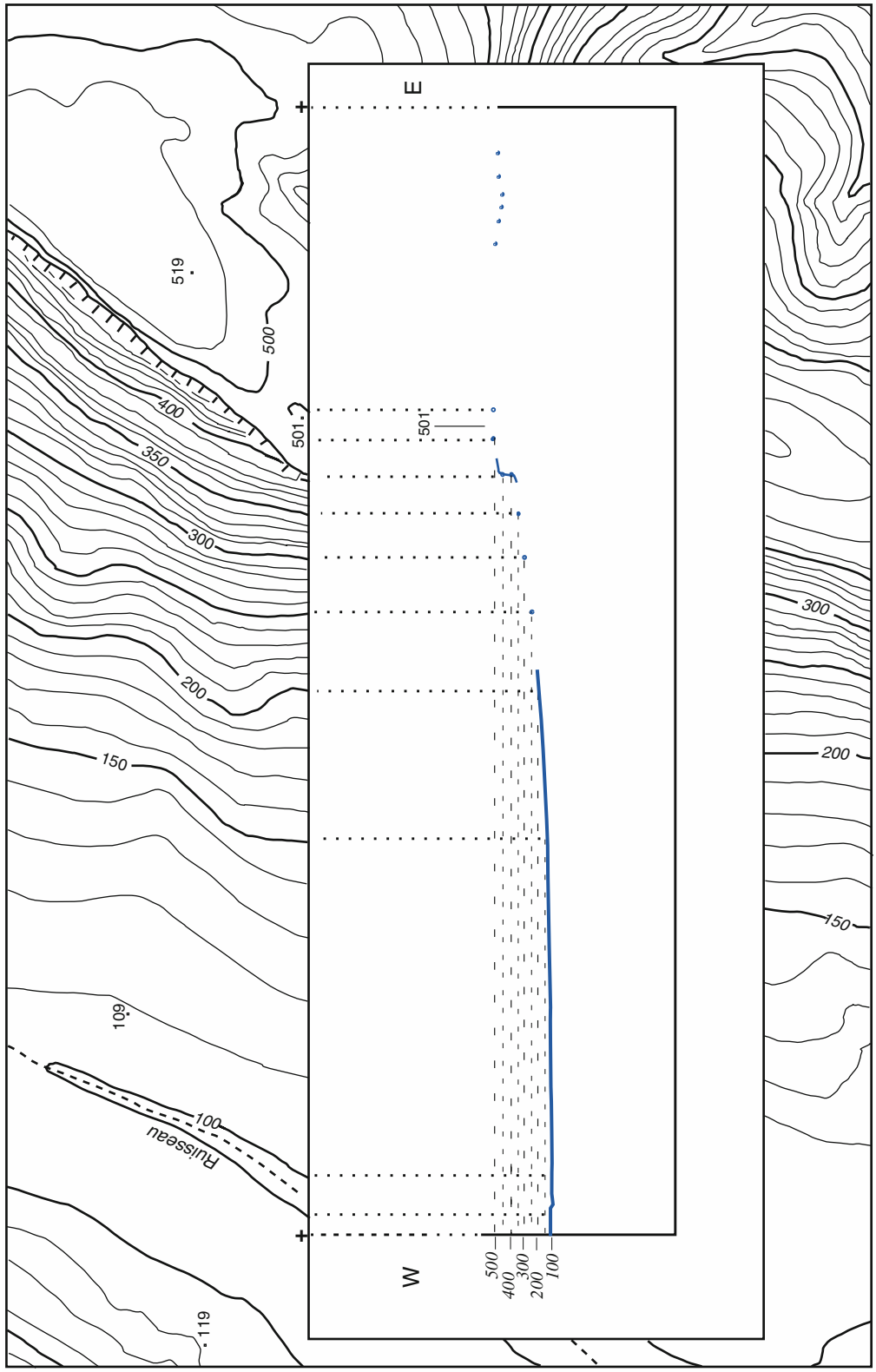



**Figure 7.1** Réalisation du profil topographique. La méthode est exposée dans le texte. La bande de papier millimétré est figurée ici en blanc. Les tiretés horizontaux et verticaux correspondent au quadrillage du papier millimétré. Sur la droite, on voit les points de construction du profil, petits pour les courbes de niveau ordinaires, gros pour les courbes maîtresses. La corniche est esquissée. À gauche est tracée une partie du profil, dont on ne doit plus voir les points de construction sur la coupe finie.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

La régularité des séries sédimentaires à l'échelle d'une carte permet d'y faire des coupes précises. À l'inverse, la forme irrégulière et mal connue des massifs de **roches intrusives** (ex. certains granites) empêche d'extrapoler précisément la coupe en profondeur. Plus incertaines encore sont les coupes dans les **terrains métamorphiques** très déformés, qui ne sont pas abordées ici.

Les techniques de réalisation de coupes géologiques présentées ici concernent donc surtout les terrains sédimentaires, certains principes restant cependant valables dans d'autres types de terrains.

### b) Précision des coupes géologiques

La précision d'une coupe dépend surtout de la complexité structurale de la région : intensité du plissement, densité des failles et importance de leur rejet. La richesse de la carte en données précises comme les signes de pendage avec indication de l'angle favorise la précision des coupes.

– Des coupes précises sont faciles en structure tabulaire ou monoclinale.

– En structure modérément plissée, la précision en profondeur est bonne pour peu que l'on respecte les valeurs des pendages et les épaisseurs des couches.

– Dans des plis serrés, compliqués de failles ou de chevauchements, l'incertitude croît avec la profondeur, où les données contraignantes disparaissent.

– Le pendage des failles, rarement mesurable sur le terrain, n'est pas donné sur les cartes. Il faut quand c'est possible le déterminer par l'intersection de leur tracé avec les courbes de niveau (fig. 3.5 ou planche 9-2, carte Molsheim). Sinon, sachant par l'observation de la carte ou par sa notice que la région a subi de la tectonique compressive, il faut choisir le pendage de façon à dessiner une faille inverse. Si la tectonique a été distensive, on dessinera une faille normale.

– La diminution de la précision des coupes géologiques avec la profondeur est inévitable ; elle a été constatée dans des forages, ou en comparant des coupes préparatoires au percement de tunnels avec les structures réellement rencontrées lors des travaux.

## 7.4 La coupe en structure tabulaire

En **structure tabulaire**, les couches n'ont pas été sensiblement déformées par la tectonique. Elles sont restées « **subhorizontales** », et les reliefs correspondant sont des **plateaux**, entaillés par des vallées. Sur la carte géologique, la structure tabulaire se reconnaît par les limites de couches horizontales, qui suivent les courbes de niveau (planche 9.1). La figure 7.2 montre un exemple simple de coupe en structure tabulaire : les formations *a*, *b*, *c*, ont des limites d'affleurement qui longent les courbes de niveaux ; elles sont donc d'altitude constante, horizontales.

Dans une coupe en structure tabulaire, une limite de couche se trace simplement en reliant par une droite sur le profil topographique les points où cette limite affleure en surface. Au passage d'une faille, ces traits doivent être décalés de la valeur du rejet vertical de la faille (fig. 7.2).

Le décalage vertical de la faille *F* s'estime par la différence d'altitude d'une limite de terrains (*b*/*c* par exemple) de part et d'autre de la faille. Mais il n'est pas possible de déceler une éventuelle composante horizontale, décrochante, sur la faille.

On peut déterminer l'épaisseur d'une formation sans avoir recours à la notice de la carte : on compte le nombre de courbes de niveau qu'elle contient, et on le multiplie par l'équidistance des courbes.

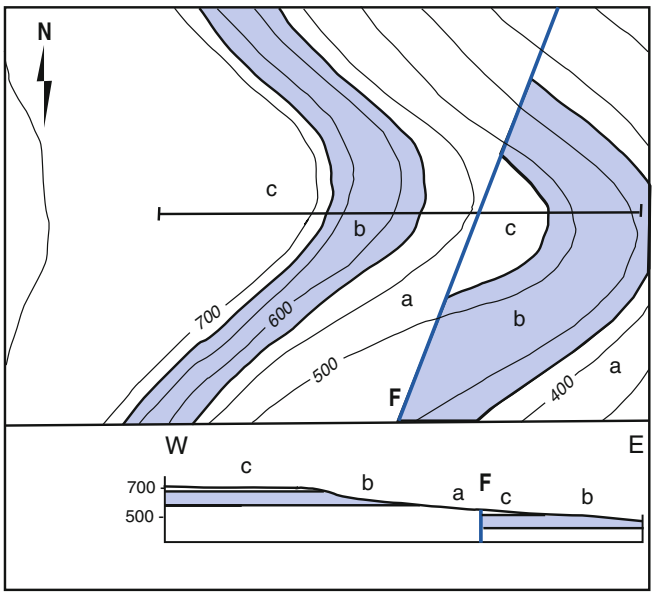



**Figure 7.2** **Schéma de carte géologique et coupe en structure tabulaire.**

#### *Le regroupement de couches*

À l'échelle du 1/50 000, une formation de 50 mètres d'épaisseur ne fera qu'un millimètre sur la coupe, ce qui est mince pour y placer des figurés. On peut regrouper une couche avec une ou deux de ses voisines, mais il faut le faire de façon judicieuse :

– ne pas regrouper une formation marine et une continentale, car un changement paléogéographique (d'environnement) se place entre les deux ;

– éviter autant que possible de regrouper des formations de deux ères ou systèmes différents (Crétacé supérieur et Tertiaire inférieur).

Regrouper des couches se fait aussi dans les coupes en structure monoclinale ou plissée.

## 7.5 La coupe en structure monoclinale

La structure monoclinale est caractérisée par des couches inclinées dans la même direction. La valeur du pendage peut rester constante ou varier localement, formant une flexure ou un repli monoclinal (fig. 7.4).

### a) Détermination du pendage

Si elle n'est pas donnée sur la carte, la valeur du pendage peut être estimée de deux façons :

– **sans connaître l'épaisseur des couches** : dans un relief assez marqué, on peut utiliser la méthode des intersections des limites de couches et des courbes de niveau (méthode des horizontales, voir chap. 3) ;

– **en connaissant par la notice l'épaisseur d'une couche au moins** : on place sur le profil topographique (fig. 7.3) les points correspondant aux limites inférieure (A) et supérieure (B) de la couche. À l'aide d'un compas, on trace légèrement un cercle centré sur B et de rayon égal à l'épaisseur *e* de la couche. La droite tangente au cercle et passant par A est la base de la couche. Avec l'habitude, on pourra utiliser une règle graduée placée perpendiculairement au segment allant au point A. Enfin, ce dessin pourra être fait directement à main levée avec l'expérience.

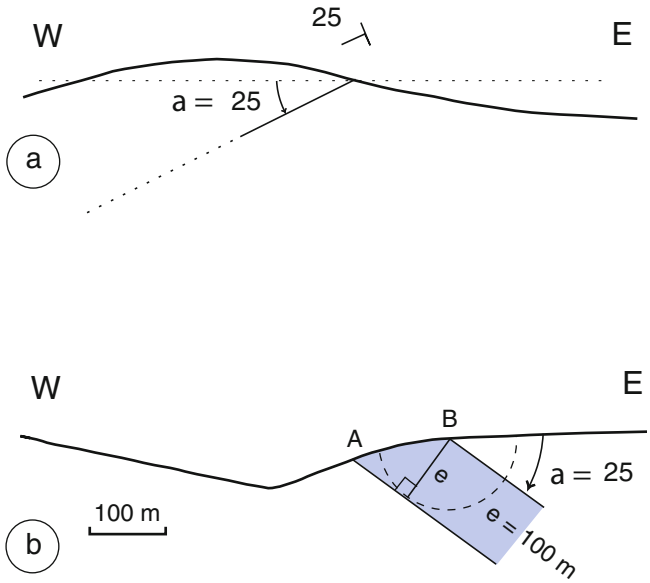



**Figure 7.3** **Dessin du pendage d'une formation.**
**a) Lorsqu'il est donné par un signe de pendage.**
**b) En connaissant l'épaisseur et les limites d'affleurement de la formation.**

### b) Réalisation de la coupe

Placer sur le profil topographique les points d'affleurement des limites de couches et des failles éventuelles (fig. 7.4). Déterminer le pendage des couches par une des méthodes vues plus haut, et esquisser le tracé d'une limite de couche. Esquisser les couches voisines en respectant leurs épaisseurs. *L'épaisseur est toujours mesurée perpendiculairement à la base et au sommet de la couche*. Au passage d'une faille, décaler les couches de la valeur du rejet vertical de la faille. Voir sur la carte s'il y a des variations locales de pendage pour en tenir compte avant d'achever le dessin des couches. Enfin, *les figurés lithologiques placés dans les couches sont basculés comme celles-ci*.

## 7.6 La coupe en structure plissée

### a) Repérage des structures de la coupe

Il est indispensable d'analyser la carte avant d'y choisir l'emplacement d'un trait de coupe, ou avant de réaliser une coupe déjà tracée. Cela permet de repérer la position des plis, leur style, la forme ronde ou anguleuse des charnières, les discordances, les failles, leur nature et leur pendage, l'ampleur des chevauchements, etc. On examinera plus spécialement **les environs du trait de coupe**, car on ne trouve pas juste sur ce trait toutes les données utiles à la coupe.

Ces observations sont nécessaires aussi pour l'interprétation de la coupe en profondeur. En effet, on n'y dispose plus des données précises de surface fournies par la carte, qui permettent de bien contraindre le dessin de la partie supérieure de la coupe. L'incertitude augmente en profondeur, et donc la nécessité d'interpréter. Cette extrapolation sera d'autant plus fiable qu'elle tiendra compte des observations régionales obtenues par l'examen d'ensemble de la carte.

### b) Réalisation de la coupe

#### *La partie superficielle de la coupe*

Les contours des terrains tracés sur la carte géologique représentent l'intersection des limites de ces terrains avec le relief modelé par l'érosion (ex. fig. 7.2). La géométrie de ces intersections permet de construire précisément la partie superficielle de la coupe géologique, qui sera ensuite complétée en profondeur.

➢ **Le repérage des limites de terrains sur le profil topographique**

On repère d'abord les positions des limites de terrains et des failles sur le trait de coupe, et on les coche par de petits traits sur le bord du papier millimétré. Celui-ci doit rester bien calé sur les points d'extrémité de la coupe. Puis on descend ces repères le long des lignes verticales du papier millimétré, et on les pointe légèrement sur le profil topographique.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

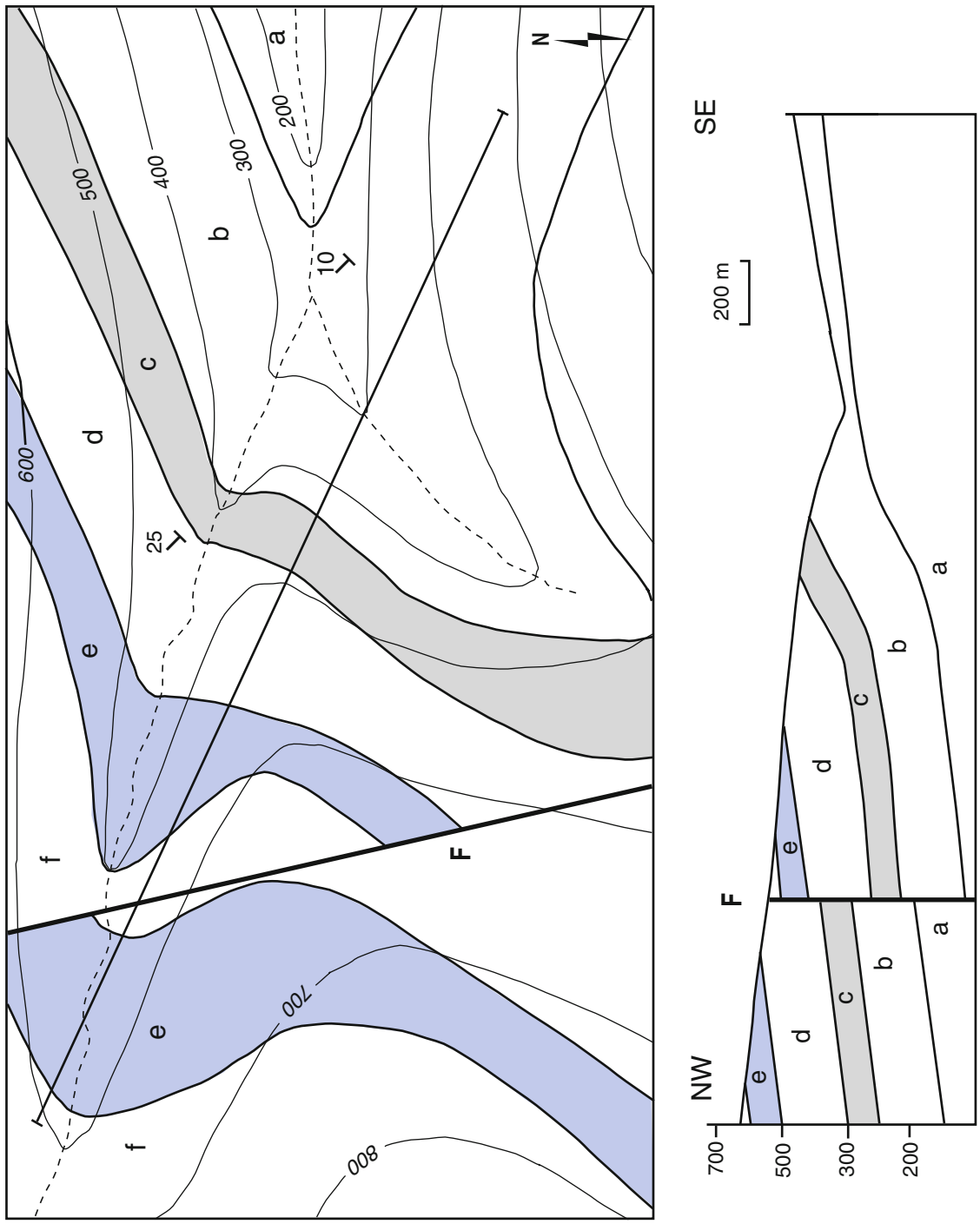



**Figure 7.4** Schéma de carte géologique et coupe en structure monoclinale.

➢ *Le choix du point de départ pour la construction de la coupe*

Où débuter la construction d'une coupe géologique ? Sur les meilleures cartes, avec de nombreux signes de pendages et leur valeur, divers points de départ peuvent être faciles. Mais dans la majorité des cas il est préférable de commencer par le cœur d'un pli synclinal, ou éventuellement d'un anticlinal. Au niveau de l'axe d'un pli, le pendage d'une couche est localement horizontal dans la coupe. De part et d'autre de l'axe, dans les flancs du pli, le pendage peut être déterminé : soit par des signes de pendage, soit par la largeur d'affleurement des couches en connaissant leur épaisseur, ou encore par l'intersection des limites de couches et des courbes de niveau (méthode des horizontales, voir chapitre 3). Le dessin du pli est un bon point de départ pour prolonger la construction de la coupe.

Si de grandes failles ou chevauchements divisent la coupe en compartiments qui diffèrent beaucoup par la nature des terrains, leurs âges, ou leur structuration, il peut s'avérer nécessaire de construire indépendamment chaque compartiment pour réaliser la coupe.

➢ *La suite de la construction de la coupe*

Après avoir réalisé le secteur de départ de la coupe, sa construction se poursuit de proche en proche, en projetant verticalement les limites des terrains sur le profil topographique. Connaissant le pendage et/ou l'épaisseur d'une couche, on trace sa base jusque sous la couche précédente.

L'exactitude d'une coupe en structure plissée dépend du respect de l'épaisseur des couches, de la régularité et de la finesse du dessin. La partie superficielle de la coupe doit être précise avant d'être complétée en profondeur.

### La partie profonde de la coupe

S'il est facile de compléter une coupe en profondeur en structure tabulaire, il n'en est pas de même en structure plissée et faillée : le manque de données y oblige à une part d'interprétation, tout en respectant des règles géométriques et en gardant une réflexion logique sur la déformation.

➢ *Extrapolation des plis*

Sauf indication contraire visible sur la carte ou signalée dans la notice, on considère que le plissement des séries sédimentaires est **isopaque**, c'est-à-dire que l'épaisseur des couches reste constante. Cette règle sera respectée pour compléter la coupe vers le bas.

Dans les synclinaux, c'est en surface que le pli est le plus serré, son rayon de courbure le plus petit. En profondeur, le pli s'élargit et le dessin de couches d'épaisseur constante ne pose pas de problème.

Il n'en est pas de même dans les anticlinaux : c'est en haut que le rayon de courbure des couches est le plus grand. En profondeur, il diminue au point que la charnière peut devenir anguleuse, et qu'en dessous il est impossible de garder constante l'épaisseur des couches. En fait, dans la nature, des déformations complexes ont lieu dans ces charnières serrées : replis disharmoniques et petites failles difficiles à représenter dans une coupe. Il est alors préférable d'écraser et amincir modérément les couches dans les charnières anticlinales très serrées.

➢ *Les chevauchements*

Les chevauchements sont des failles inverses à faible pendage – moins de 30° – ; ils sont parfois subhorizontaux. On les reconnaît en carte à un tracé contourné dû à ce faible pendage (fig. 4.8), et parce qu'ils amènent en les coupant obliquement des terrains anciens à chevaucher sur des terrains plus récents (planche 9-12, La Javie). Cette superposition implique un raccourcissement de la région : les chevauchements sont des structures compressives généralement associés à des plis (planche 9-7, Chambéry). L'ampleur du recouvrement est appelée **flèche** du chevauchement. Dans les chaînes de montagnes de type alpin, de très grands chevauchements (d'échelle crustale) peuvent avoir des flèches de plusieurs dizaines de kilomètres, voire plus de 100 km, qui débordent du cadre d'une carte au 1/50 000. On parle alors de **charriages** ou de **nappes de charriage.**

Un chevauchement peut être une simple faille plate ou peu pentée coupant en biseau une série monoclinale. Il peut aussi se former dans un anticlinal qui se déverse et dont le flanc inverse se cisaille et devient chevauchant. Le dessin de la coupe d'un chevauchement pose deux questions :

– Quelle est la flèche du chevauchement et comment représenter ce qui est caché sous le chevauchement ?

– Comment les terrains sont-ils plissés au dessus et au-dessous du contact anormal ?

Pour ce point, comme dans les plis, on détermine les pendages des terrains et leurs variations dans les compartiments chevauchant et chevauché. Au-dessus du contact, par les signes de pendage, les largeurs d'affleurement des couches et les formes de leurs contours pour mettre en évidence le plissement des couches et sa géométrie. Pour la partie cachée sous le contact, il faut observer sur la carte le compartiment inférieur, chevauché, en avant du contact, ou de part et d'autre du trait de coupe : on regardera le pendage des couches engagées sous le contact, pour voir si elles amorcent une structure synclinale par exemple (planche 9-9, Séderon, nord de la coupe).

Le dessin des terrains cachés sous un chevauchement est difficile : il présente une part d'interprétation variable selon les informations fournies par la carte. Chercher à comprendre le mécanisme de formation du contact cisaillant permettra d'éviter de dessiner des invraisemblances structurales dans la géométrie des couches près du chevauchement.

Dans le cas d'un anticlinal déversé et cisaillé, il peut subsister sous le contact une partie de synclinal cisaillé (planche 9-9, Séderon).

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

Dans le cas du cisaillement oblique d'une série monoclinale, sans plissement notable, la nature chevauchante du contact peut cependant se marquer par de petits **rebroussements de couches**, ou **crochons de faille**, au-dessous et au-dessus du contact, par des copeaux de terrains entraînés sous le contact, ou des écailles.

Un chevauchement et un pli sont souvent associés dans leur formation. Ce processus obéit à des règles mécaniques et géométriques qui sont prises en compte dans la technique de restauration des **coupes équilibrées**. Cette technique, qui ne peut être développée dans le cadre de cet ouvrage, vise à déplier les coupes dans les régions raccourcies par des plis et des chevauchements, mais aussi étirées par des failles normales, pour les restaurer dans leur état avant déformation, estimer le taux de déformation, et retrouver les étapes de celle-ci. Sans entrer dans le détail de cette technique, il faut penser en dessinant la coupe à la façon dont les structures se sont formées pour aboutir à leur état actuel, et en donner un dessin vraisemblable mécaniquement.

### ➢ *Le pendage des failles en profondeur*

Le pendage des failles peut parfois être estimé sur les cartes par leur intersection avec la topographie (voir chapitre 3, et planche 9-2, Molsheim et Bessèges). En pratique, c'est surtout possible dans le cas de failles à faible pendage comme les chevauchements. Si le pendage des failles dépasse 60° et que le relief est peu prononcé, les tracés des failles sont quasi-rectilignes sur les cartes, et l'on ne peut déterminer leur pendage, ni même de quel côté elles pendent. On peut alors chercher sur la carte une autre faille de même direction, dans le même contexte tectonique, dont le pendage est déterminable, et par analogie attribuer un pendage semblable à la faille posant problème.

Il n'est pas recommandé de ménager la chèvre et le chou en traçant des failles verticales. Celles-ci sont rares, surtout dans les régions plissées, et la coupe paraîtra irréaliste mécaniquement. Il est préférable de tenir compte du contexte tectonique pour choisir un pendage. Ainsi, sachant que les plis résultent d'une tectonique en compression, on choisira le pendage des failles parallèles aux axes des plis de façon qu'elles soient inverses, en supposant qu'elles ont joué dans la même compression (planche 9-5, Pontarlier). Cependant, la tectonique a pu être **polyphasée**, c'est-à-dire que de l'extension a succédé à de la compression, ou inversement.

Dans une région ayant subi une tectonique en extension marquée par un fossé d'effondrement (**graben**), si le pendage des failles bordières n'est pas visible sur la carte, on choisira de tracer des failles normales (planche 9-3, Clermont-Ferrand).

On a tendance à poursuivre le tracé des failles en profondeur de façon rectiligne. Or les observations de terrain, certaines cartes géologiques, des données géophysiques (profils sismiques) ou encore des travaux souterrains (forages, tunnels) montrent que le pendage des failles peut varier en profondeur. Ainsi, certaines failles préexistantes ou formées dans le début du plissement ont pu jouer tout en étant pliées progressivement en même temps que les couches (planche 9-5 Pontarlier, planche 9-9 Séderon). De telles interprétations en profondeur sont difficiles, même pour les initiés aux coupes géologiques. Mais il faut se souvenir que le pendage des failles peut varier en profondeur, et que cela rend plus réaliste mécaniquement le dessin de certaines failles.

### ➢ *Ce qui est caché sous les discordances*

La discordance (voir chapitre 5) est un phénomène d'intérêt majeur en géologie : elle indique l'existence d'un ou plusieurs événements tectoniques. Son importance est variable en intensité et en étendue, et donc sa signification : parfois mineure et d'importance seulement locale, parfois régionale. Il existe des discordances majeures à l'échelle d'un pays ou d'un continent : en France par exemple la discordance générale des terrains sédimentaires secondaires sur les terrains plissés, métamorphiques ou granitiques de l'ère primaire (planches 9, planches France, Millau, Carcassonne, Molsheim, Grasse-Cannes, Clermont-Ferrand).

Dans une coupe présentant une discordance, il faut essayer de déterminer ou imaginer la disposition des terrains anciens masqués par les terrains discordants. Pour cela, on examine sur la carte les terrains anciens visibles de part et d'autre de la coupe, pour déterminer leur nature et leur disposition géométrique, afin de les prolonger au niveau de la coupe, où ils sont cachés par les terrains discordants. Prenons l'exemple de la carte des Alpilles (planche 9-15) : la coupe N-S passe par les Baux de Provence. Le village est bâti sur les restes subhorizontaux de calcaires marins d'âge miocène, que l'érosion a largement fait disparaître tout autour, ce qui permet de voir leur substratum. À l'est et à l'ouest de la coupe, ces calcaires reposent en discordance sur différentes formations continentales du Crétacé supérieur et du Paléocène. La succession des couches, identique à l'est et à l'ouest, montre qu'elles sont plissées en un synclinal d'axe E-W, qui a été érodé avant la transgression de la mer miocène. Ce synclinal résulte d'une compression sensiblement N-S, postérieure à de l'Éocène, visible à l'ouest, et antérieure au Miocène discordant ; c'est la compression fini-pyrénéenne connue dans le midi de la France. Pour placer dans la coupe les limites des couches du synclinal sous le Miocène discordant, on relie leurs limites d'affleurement à l'est et à l'ouest du Miocène, et on pointe l'intersection de ces lignes avec le trait de coupe.

Le Miocène repose avec un angle fort sur les couches plissées : il s'agit d'une **discordance angulaire**.

Le même extrait de carte montre un bel exemple de discordance plus faible, parfois sans angle appréciable sur le terrain, la **discordance cartographique** : en divers endroits

de la carte, un niveau à bauxite repose sur les calcaires marins du Crétacé inférieur. Tantôt sur l'Hauterivien supérieur (n3b), tantôt sur le Barrémien – ou Urgonien – (n4b-a). La bauxite, minerai de l'aluminium, dont le nom vient précisément des Baux de Provence, est une formation continentale déposée sur des calcaires qui ont émergé et ont été érodés ou dissous par l'eau (karstification). Sur la carte, la bauxite repose pendant des kilomètres sur n3b, puis sur n4b-a, couches peu épaisses et érodées dont l'épaisseur varie de 0 à 200 mètres environ. Cela signifie que l'angle de discordance de la bauxite sur les calcaires est très faible. La discordance n'est pas angulaire, mais cartographique : il faut se déplacer de plusieurs kilomètres, aller d'un point à un autre de la carte, pour que le substratum de la bauxite change. Celui-ci n'a donc pas subi de déformations tectoniques fortes entre son émersion et le dépôt de la bauxite.

Il est parfois impossible de savoir ce que cache une discordance majeure, comme en France celle des terrains sédimentaires secondaires ou tertiaires tabulaires discordants sur un socle primaire granitique et métamorphique très complexe et varié. Quand on ne peut extrapoler raisonnablement les contours des terrains du socle sous le trait de coupe, mieux vaut regrouper ces terrains sous un même figuré, de granite ou de roche métamorphique indifférenciée, et signaler dans la légende de la coupe ce qui est regroupé sous ce figuré.

### ➢ *Ce qui est caché sous les formations superficielles récentes*

Les formations superficielles récentes, souvent quaternaires, sont de nature et d'origine variées :

– alluvions fluviatiles (sables, galets, limons de plaines d'inondation) le long des cours d'eau ;

– sols, paléosols, limons, loess (éolien) des plateaux et plaines ;

– colluvions et autres masses de matériau qui ont glissé sur les pentes de versants souvent argileux ;

– moraines et dépôts fluvio-glaciaires des vallées glaciaires (Alpes, Pyrénées) ou des surfaces montagneuses qui furent couvertes de glace dans les périodes froides du Quaternaire (Alpes, Pyrénées, Jura, Vosges, Massif Central) ;

– tabliers d'éboulis caillouteux de versants, écroulements rocheux catastrophiques, en général au pied de corniches calcaires ou d'autres roches dures ;

– glissements de terrains, etc.

Dans une coupe géologique au 1/50 000, on s'intéresse essentiellement aux terrains plus anciens et à leurs structures. Les formations superficielles sont en général trop minces pour pouvoir être représentées, et sont parfois jugées gênantes car elles masquent leur substratum !

Les cartographes n'ont pas toujours accordé la même importance aux formations superficielles : parfois presque ignorées, elles sont sur d'autres cartes largement représentées, au point de rendre difficilement lisible le substratum.

Les formations récentes masquent les limites des terrains sous-jacents : dans une coupe, il faut comme pour les discordances extrapoler ces limites à partir des secteurs voisins où elles sont visibles.

Les failles et chevauchements sont souvent représentés en tiretés sous les formations superficielles ; cela indique leur position approximative. Mais cela ne veut pas dire (sauf spécification) que ces accidents ont affecté les formations récentes.

### ➢ *Les coupes équilibrées*

Une coupe est équilibrée si elle est « rétrodéformable ». On dit aussi qu'elle est restaurable : opération qui consiste à supprimer dans la coupe les déformations (plis, failles, chevauchements…) qu'elle a enregistrées au cours du temps et obtenir son « état initial » (non déformé), servant de référence. Une coupe équilibrée reste toujours une interprétation, mais elle a moins de chance d'être fausse qu'une coupe non équilibrée.

Pour réaliser l'équilibrage d'une coupe plusieurs précautions doivent être prises. La coupe doit être orientée parallèlement à la direction de raccourcissement (Z) ou d'allongement (X), définie selon la nature et l'orientation des structures tectoniques. On suppose (et on vérifie) que la déformation est plane, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de déformation perpendiculairement au plan de coupe.

Outre que la déformation soit plane, on suppose qu'elle s'est faite avec conservation de volume (et donc des surfaces). Ainsi des repères plans (couches par exemple), linéaires en coupe, conservent leur longueur lors de la déformation. Une coupe équilibrée est donc une coupe qui une fois terminée respecte ces conditions de conservation de longueur et de surface.

*Application :*

Une coupe a été choisie sur la carte géologique au 1/50 000 d'Ornans, dans le Jura externe français. Elle recoupe une zone complexe de failles (faisceau) au droit du village de Hautepierre – le Châtel (fig. 7.5, a). Elle va nous servir d'exemple pour illustrer les différentes étapes de la réalisation d'une coupe équilibrée.

- **1re étape** (fig. 7.5 b) : elle correspond à la réalisation de la partie « superficielle » de la coupe en tenant compte du pendage des couches, de l'épaisseur des formations et du tracé des failles en profondeur, visibles ici le long de la vallée de la Loue, parallèle à la coupe.
- **2e étape** (fig. 7.5, c) : il s'agit dès lors de compléter la coupe vers le bas (en profondeur), sur la base de la coupe issue de la première étape. Plus interprétative, cette étape doit prendre en compte des données de détail comme par exemple les angles de recoupements des couches par les failles, afin de repérer notamment les rampes et les paliers des failles chevauchantes indiquées sur la carte.
- **3e étape** (fig. 7.5, d) : elle consiste à « rétrodéformer » la coupe ; il s'agit maintenant de supprimer les déplacements sur les failles (rejet) et de « déplier » les plis. Cette opération se fait en juxtaposant horizontalement quelques

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

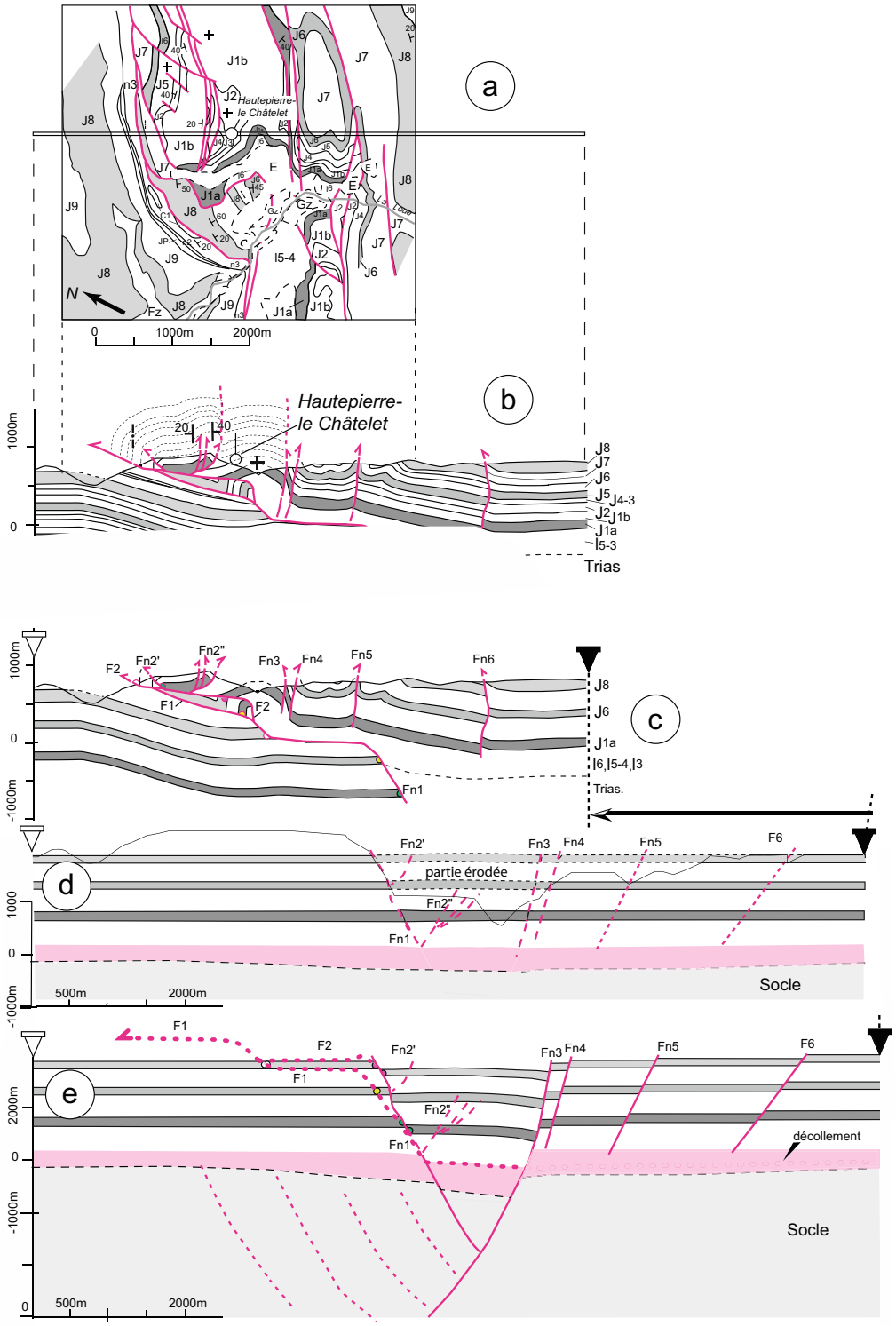



**Figure 7.5** **Exemple de réalisation de coupe équilibrée sur la carte géologique au 1/50 000, d'Ornans.**

niveaux repères (niveaux compétents de préférence) sélectionnés sur la coupe, positionnés à partir d'un point fixe (pointe blanche, au NW de la coupe, fig. 7.5, d) au-delà duquel on suppose qu'il n'y pas eu de déformation. Si cette figure ne montre ni lacune ni recouvrement de terrain, la coupe initiale (fig. 7.5, c) est dite équilibrée. Il est alors possible d'imaginer un chemin de déformation faisant passer de l'état d à c.

• **4e étape** (fig. 7.5, e) : c'est une *étape interprétative* qui permet d'imaginer un scénario tectonique plus complexe. Dans l'exemple présenté ici on peut montrer qu'une partie des failles correspond probablement à d'anciennes failles normales (Fn), à fort pendage, dont la faille Fn3 aurait le plus fort rejet. Lors de la phase de compression (au Miocène terminal) le décollement de la couverture dans le Trias (niveau rouge pale) – phénomène généralisé bien connu dans l'ensemble du Jura – aurait réactivé la faille Fn1 (à pendage SE) et permis la formation d'un chevauchement complexe avec rampe et palier néoformés (F1 et F2), à vergence NW. Les autres failles normales seraient simplement déformées, redressées lors de la compression.

L'existence d'une préfracturation de la couverture mésozoïque par des failles normales nées ou cours de l'Oligocène et sa réactivation lors de la compression Miocène terminal est bien connue et décrite par de nombreux auteurs et l'exemple présenté ici en est une bonne illustration.

### Finition de la coupe géologique

*Une fois le dessin des couches et des accidents tectoniques achevé, il reste à* réaliser sa finition.

#### ➢ *Figurés*

Un figuré représente la lithologie dominante d'une formation. Pour éviter des ambiguïtés d'interprétation ou des figurés fantaisistes, il existe des figurés conventionnels dont les principaux sont donnés dans l'encadré.

Les bancs calcaires et leur réseau de diaclases (fractures) sont figurés par des moellons, que l'on peut faire varier en les espaçant plus ou moins, en les dédoublant, etc. Les argiles et les marnes se représentent par des tirets plus ou moins longs, des vaguelettes, que l'on peut associer aux moellons pour des calcaires marneux par exemple.

Les figurés seront aussi réguliers que possible, et suivre le plissement des couches : les traits des moellons doivent être perpendiculaires aux lignes du mur et du toit de la couche (fig. 7.6).

Sauf si une formation est très épaisse, il est préférable de ne pas la subdiviser dans son épaisseur, ce qui surcharge la coupe. Sinon, les traits de subdivision doivent suivre le mur et le toit de l'ensemble et être tracés plus finement que ceux-ci.

#### ➢ *Titre*

Au dessus ou au-dessous de la coupe, le titre doit permettre de l'identifier clairement, même par vos petits-enfants : *Coupe sur la carte géologique de Carcassonne au 1/50 000*, par exemple.

#### ➢ *Orientation*

Aux extrémités de la coupe, son **orientation** sera indiquée par des lettres (fig. 7.6), selon la rose des vents de la fig. 1.2.

#### ➢ *Toponymie*

Au-dessus de la coupe, donnez une **toponymie** (noms de lieux, de cours d'eau, de sommets ou crêtes) assez détaillée, les altitudes des **points cotés**, en repérant les lieux par des traits de rappel.

#### ➢ *Échelle*

Près de la coupe, placez une **échelle graphique** (fig. 7.6) : au-dessus d'un trait d'un centimètre, par exemple, notez : 500 m.

#### ➢ *Jeu des failles*

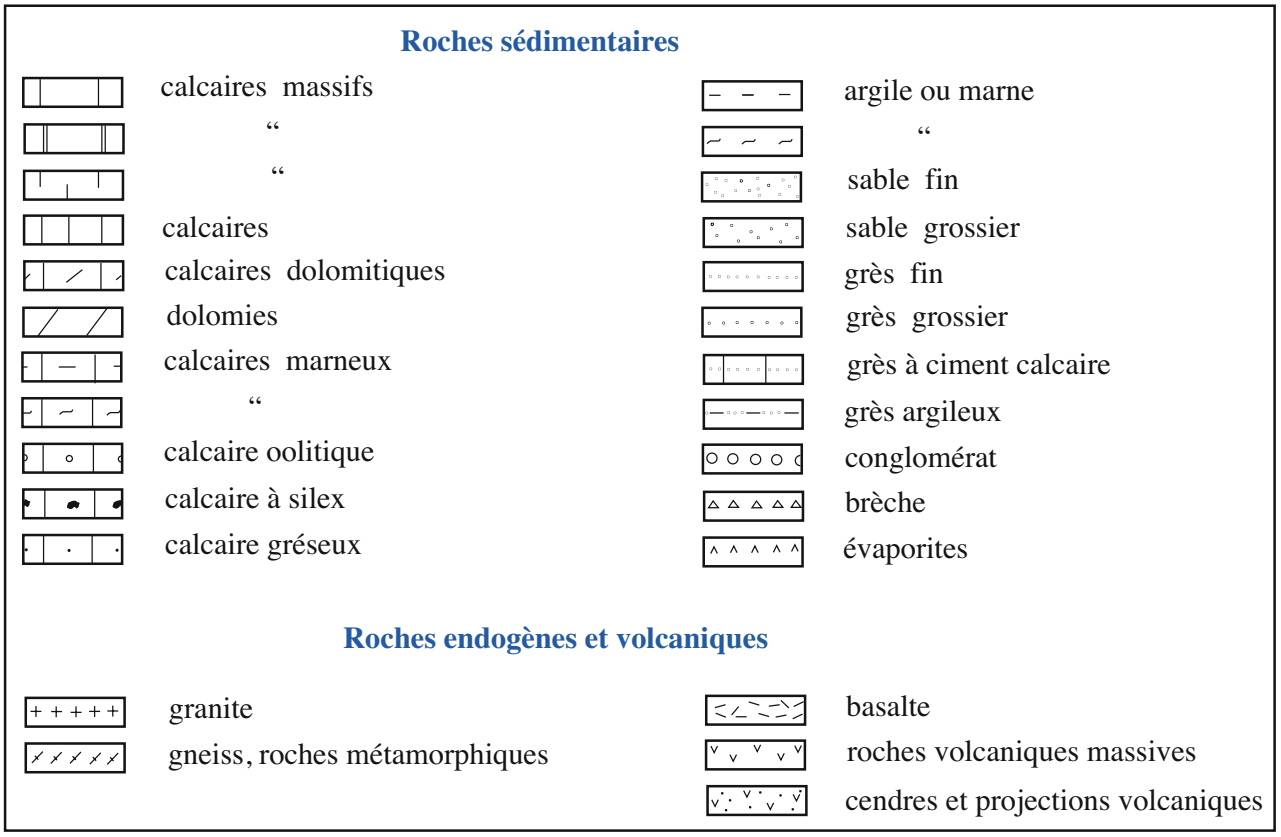
Pour mieux ressortir, les failles peuvent dépasser un peu au-dessus du profil topographique.

Des **demi-flèches** indiquent le sens de jeu des failles (fig. 7.7). Pour les failles décrochantes, on utilise des symboles dérivés d'une flèche d'archer : un point dans un cercle représente la pointe de la flèche (le compartiment) venant vers l'observateur, une croix dans un cercle les plumes de l'arrière de la flèche (le compartiment) s'éloignant de l'observateur.

#### ➢ *Colonne lithostratigraphique*

À droite de la coupe et à la même hauteur, une **colonne lithostratigraphique** de deux à quatre centimètres de large permettra de reconnaître les terrains par leurs figurés et leurs épaisseurs (voir les exemples sur les coupes du chapitre 9). Le bord droit de la colonne pourra, par des saillants et des rentrants des couches comme on en voit par exemple dans des falaises, refléter la résistance des couches à l'érosion. Cette résistance se déduit des relations que l'on observe sur la carte entre les formes de relief et les changements de terrains, ou de la lithologie indiquée dans la légende ou la notice de la carte. À droite de la colonne, par des traits de rappel disposés en éventail, on indiquera l'âge des terrains par leur nom d'étage. Par rapport à une légende des terrains donnée dans des cartouches rectangulaires, la colonne lithostratigraphique est plus esthétique, plus réaliste car elle reprend l'épaisseur des terrains et donc leur figuré à l'échelle de la coupe.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.




a)

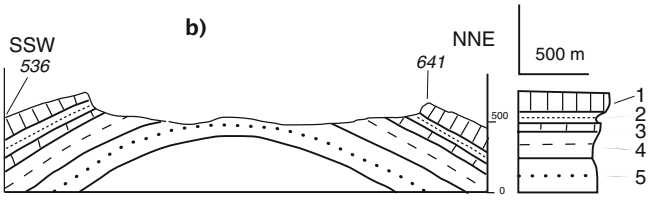



**Figure 7.6** **a) Principaux figurés lithologiques conventionnels.**
**b) Exemple de représentation de figurés dans des couches plissées.**

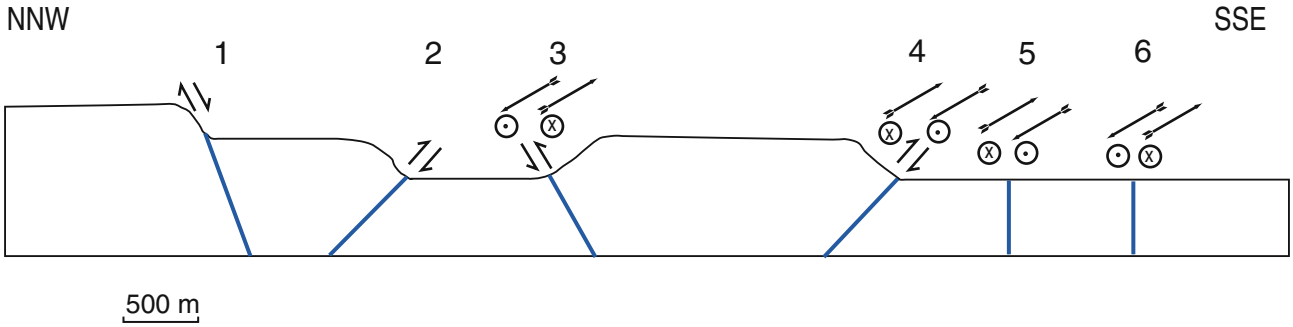
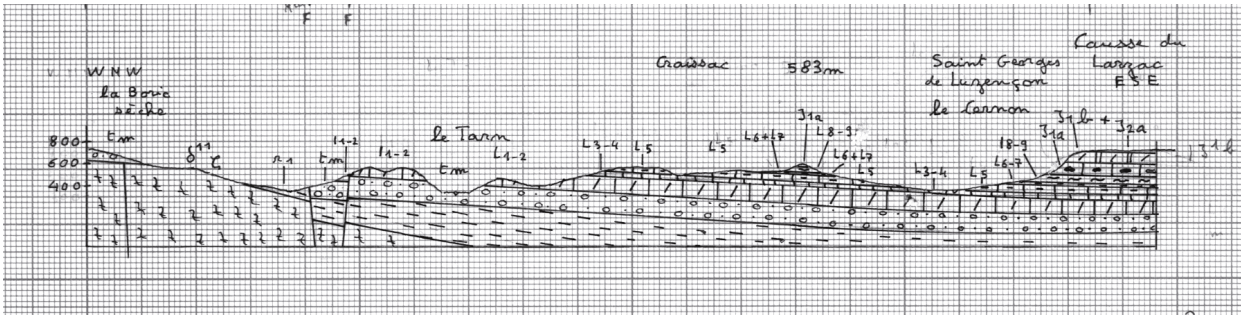
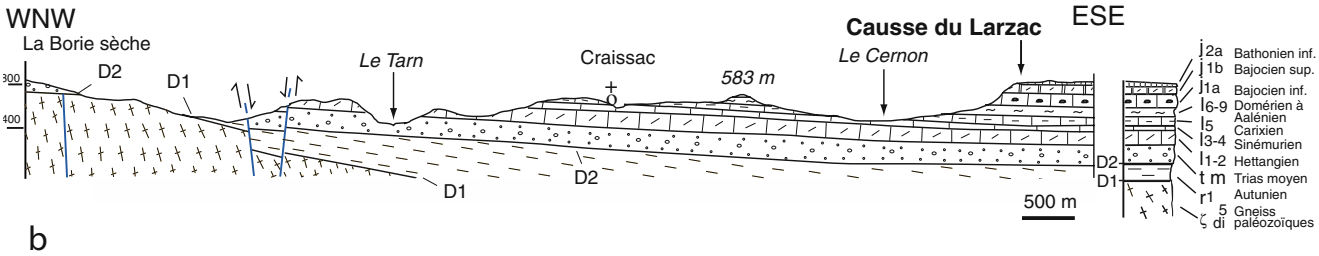



**Figure 7.7** **Symboles indiquant le jeu des failles. Faille normale (1) et inverse (2). Les cercles avec des points ou des croix indiquent un jeu décrochant dextre (5) ou sénestre (6). La faille (3) est sénestre-inverse, la (4) dextre-inverse. Les flèches en perspective et en tiretés illustrent le mouvement correspondant symboles décrochants, mais ne doivent pas figurer sur la coupe.**




a




b

**Figure 7.8** **Les deux étapes de la réalisation d'une coupe géologique. a) Réalisation à la main sur papier millimétré. b) Tracé « au propre » sur calque.**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

# Le commentaire de carte

CHAPITRE 8

Le commentaire de carte décrit les éléments géologiques remarquables du document étudié en s'appuyant :

– sur la lecture directe de la carte géologique,

– sur la coupe géologique fournie avec la carte ou réalisée par le lecteur,

– sur la colonne lithostratigraphique et la notice de la carte,

– sur le schéma structural.

L'objectif du commentaire de carte est de synthétiser l'ensemble des informations consignées dans la carte géologique et sa notice et de produire un document récapitulatif d'une part de la nature, de l'âge et de la disposition des principaux ensembles géologiques et d'autre part de l'histoire de leur formation, de la déformation, et de leur transformation.

Pour réaliser un commentaire de carte il convient d'insister :

– sur les marqueurs chronologiques majeurs (discordances, cachetage…) ;

– sur l'orientation et la nature des éléments structuraux (plis, failles, chevauchements) ;

– sur les relations génétiques des ensembles magmatiques (intrusion plutonique, auréole de métamorphisme de contact…) et volcaniques (édifices, coulées, dykes…).

Un commentaire de carte peut être fait sur tout document géologique quelle que soit son échelle. Le principe de réalisation est toujours le même mais la dimension des objets pris en compte variant, les conclusions du commentaire refléterons cette différence d'échelle.

À titre d'exemple nous avons choisi de faire un commentaire d'un extrait de la carte géologique de Montpellier au 1/250 000 (fig. 8-2). À partir de cet extrait de carte nous avons tiré un schéma structural (fig. 8-3, haut) et une coupe schématique synthétique (fig. 8-3, bas). Pour aider à la lecture nous présentons en introduction une carte topographique morphologique de la région (fig. 8-1).

## L'exemple du secteur de Lodève

### Relief et morphologie (fig. 8.1)

Le relief du secteur de Lodève entre, au nord le rebord méridional du plateau du Larzac (altitude 700 à 750 m) et, au sud le piémont languedocien (altitude inférieure à 50 m) est fortement contrasté. Il résulte de l'action du réseau hydrographique essentiellement méditerranéen réglé par l'Hérault et par l'Orb, fleuves courts à forte pente à leur naissance. Seule la Sorgue, au SW du Larzac à une destination vers l'Atlantique. Une arête dorsale nord-sud armée par la chaîne volcanique de l'Escandorgue (cf. infra.) sépare les deux bassins versants. La Lergue et la Salagou, affluents en rive droite de l'Hérault, ont dégagé les formations rouges permiennes et provoqué la mise en relief du plateau de l'Auverne, ancienne coulée volcanique. De son côté l'Orb et ses nombreux affluents ont disséqué les divers terrains (primaires, et secondaires) situés à l'est des hauts reliefs de la Montagne Noire.

L'acquisition de cette morphologie complexe régionale est le résultat d'une histoire qui débute au Crétacé (évolution karstique ancienne sur les causses), rajeunie au cours du Tertiaire lors de la tectonique pyrénéenne. Mais elle ne prend sa physionomie telle que nous la voyons aujourd'hui qu'à partir du milieu du Tertiaire (Oligocène et Miocène) en raison des mouvements verticaux différentiels qui provoquent la surrection des causses et l'effondrement du domaine languedocien. La dernière retouche, au cours du Quaternaire, certes spectaculaire, est toutefois modeste par rapport aux formes antérieurement acquises. (Ambert P., 1994).

### Géologie du secteur de Lodève

Il va du plateau calcaire du Larzac au nord (IV fig. 8-3, haut) jusqu'à la plaine littorale du Languedoc (V fig. 8-3, haut) au sud. Il s'appuie à l'ouest sur les terrains anciens de la Montagne Noire (I fig. 8-3, haut) dont on voit le flanc nord, la terminaison est de la Zone Axiale et le Monts du versant sud. Entre le causse et la basse plaine s'insère le bassin de permien de Lodève (III fig. 8-3, haut). L'Hérault et ses affluents en rive droite et l'Orb et son dense réseau de courts affluents drainent l'ensemble du secteur.

#### a) Les éléments remarquables

Une série sédimentaire horizontale, faillée, débutant avec le Trias détritique continental et se terminant avec le Jurassique supérieur calcaire marin, affleure largement au Nord et NE (Causse du Larzac) (IV fig. 8-3 et fig. 8-2). Le Trias (t) repose en discordance (D3) sur divers terrains (fig. 8-2 et fig. 8-3) :

– sur le Permien inférieur (r1) ou supérieur (r2), sur le pourtour du bassin de Lodève ;

– sur des terrains plus anciens, paléozoïques sédimentaires et plutoniques (–M), (NW de la carte, fig. 8-2).

Des dépôts du Carbonifère supérieur (h5, Westphalien) détritiques à charbon du bassin houiller de Graissessac, sont coincés dans un demi-graben EW, entre la zone axiale de la Montagne Noire et les écailles de domaine nord de cette même montagne (II fig. 8-3) ; ils reposent en discordance (D1) au nord, sur les terrains paléozoïques plissés et écaillés à vergence SE (I fig. 8-3).

Sur le bord ouest de la carte apparaît l'extrémité orientale de la zone axiale de la Montagne Noire (I fig. 8-3)

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

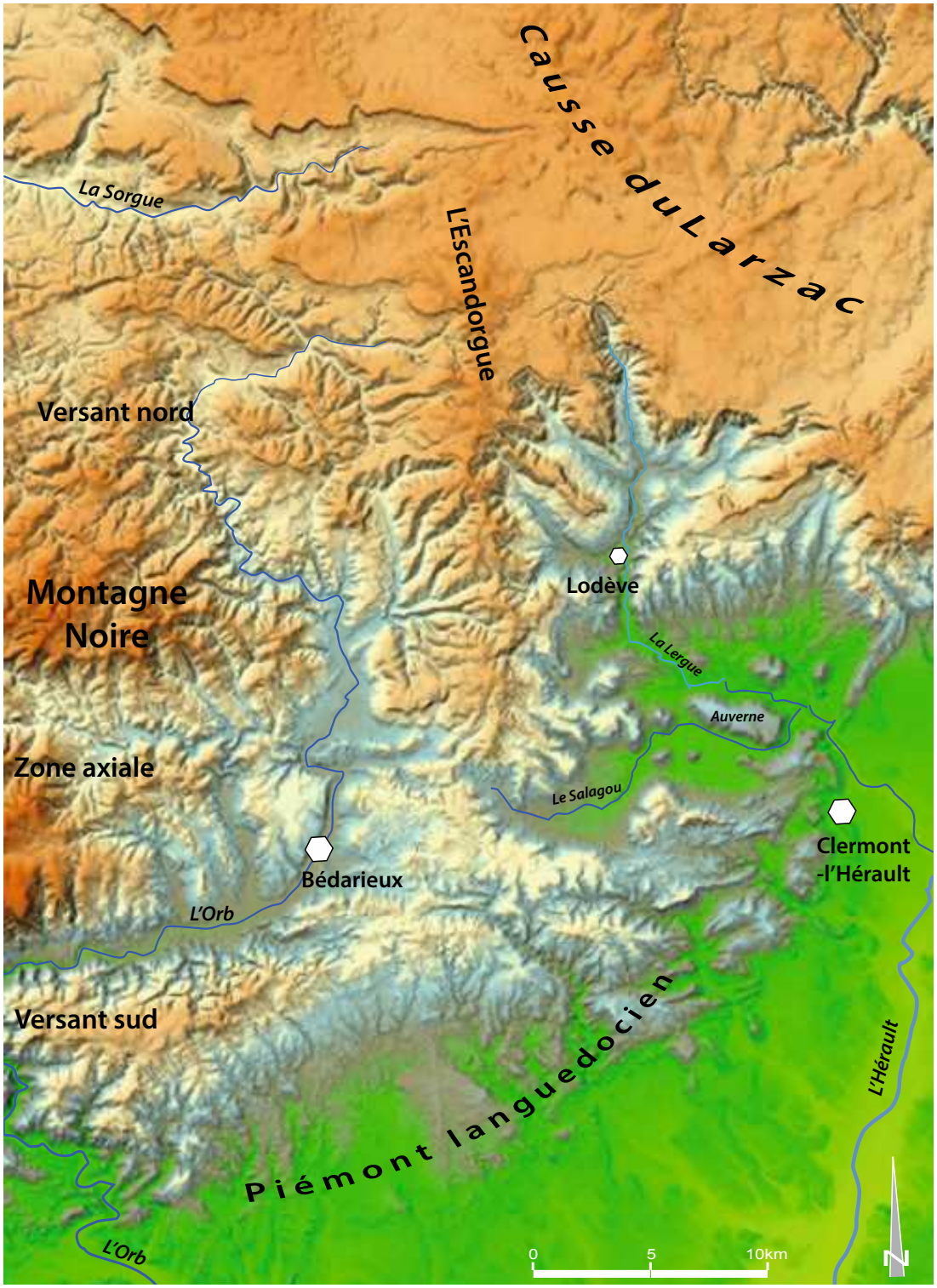



**Figure 8.1** Carte en relief de la région de Lodève. Code couleurs : marron : supérieur à 700 m ; beige : 700 à 400 m ; gris : 400 à 300 m ; vert : inférieur à 300 m. (d'après géoportail, IGN, modifié).

formée de terrains métamorphiques précambriens (?) à dévoniens ployés tardivement en dôme.

Au sud de la zone axiale affleure une large zone de terrains paléozoïques (Ordovicien, Dévonien, Carbonifère inférieur (h1)), constituant un empilement de nappes (Nappes du versant sud), à séries renversées, décollées de la zone axiale et mises en place au cours du Viséen sup. – Namurien.

Des dépôts néogènes (m), continentaux à marins peu profond, occupent les parties basses du Languedoc (V fig. 8-3) et sont recouverts de formations continentales (fluviatiles) pliocènes et quaternaires incisés par l'Hérault et l'Orb et leurs affluents (sud de la carte, fig. 8-1 et 8-3).

Sous ces dépôts néogènes apparaissent des terrains méso- et cénozoïques (Paléogène) déformés lors de l'orogenèse pyrénéenne (écailles de Saint Chinian, coin SW de la carte, IVbis fig. 8-3).

Enfin un système volcanique plio-quaternaire – la chaîne de l'Escandorgue – essentiellement basaltique (cônes, coulées, dykes et série volcano-sédimentaires associées), orienté NS, s'étale depuis la région des causses (VI fig. 8-3) (Larzac sud) jusque dans les plaines du Languedoc.

### b) Les principales structures tectoniques

Des failles NE-SW à ENE-WSW affectant les terrains ante-néogène (la faille des Cévennes par exemple) jouent en failles normales, décrochantes (sénestre) et inverses. Des failles de même direction dans le domaine nord de la Montagne Noire, de type inverse à chevauchant (vergence au SE), participent à la tectonique hercynienne.

Des failles EW, en bordure nord de la zone axiale de la Montagne Noire fonctionnent en faille normale pendant le Stéphanien permettant le dépôt de grés et de charbons piégés dans un demi-graben.

Au sud de la zone axiale de la Montagne Noire des accidents chevauchants (base de nappes) ENE-WSW et des klippes affectant uniquement les terrains paléozoïques soulignent l'empilement de nappes (gravitaires ?) du versant sud, mises en place au cours du Viséen supérieur – Namurien (fin de l'orogenèse hercynienne).

Quelques accidents plats affectant les terrains méso-cénozoïques (Paléocène-Eocène), à vergence vers le nord sont les témoins, dans la région de Saint Chinian, de la tectonique pyrénéenne dans cette partie du Languedoc.

Enfin quelques failles normales ENE-WSW à NE-SW en bordure du Néogène du Languedoc accompagnent l'extension oligo-miocène, largement développée vers le sud.

### c) Les discordances : marqueurs de l'histoire géologique

Les grandes étapes de l'histoire géologique d'une région sont souvent marquées par des discontinuités accompagnées de lacunes appelées discordances. Ici on peut en repérer plusieurs. Il s'agit de la discordance D1 à la base du Stéphanien (h2), D2 à la base du Permien inférieur (r1), D3 à la base du Trias (t), D4 à la base du Néogène (m) et D5 à la base des formations volcaniques plio-quaternaires.

### d) L'histoire géologique de la région

Elle se déroule sur une longue période de plus de 550 mA, avec des événements remarquables depuis le Précambrien jusqu'au Quaternaire.

– L'**histoire paléozoïque** est dominée par la formation de la chaîne hercynienne au cours de laquelle les terrains précambriens et paléozoïques (Cambrien, Ordovicien, Dévonien et Carbonifère inférieur – (Viséen Namurien)) sont déformés et métamorphisés dans une tectonique de collision avec mise en place de nappes à vergence sud, replissées tardivement (bombement de la Zone Axiale de la Montagne Noire) au cours du Westphalien. Postérieurement à la surrection de la chaîne se développe une tectonique extensive qui crée de petits bassins continentaux, grés et charbons au Carbonifère supérieur (Stéphanien) (discordance D1), et de grés et pélites au Permien (discordance D2). Au cours de cette période l'érosion très importante nivelle totalement les reliefs et prépare la pénéplaine sur laquelle vont se déposer les sédiments triasiques (discordance D3).

– L'**histoire méso-cénozoïque** donne à la région l'aspect que nous observons aujourd'hui. C'est d'abord une longue période de sédimentation continentale (Trias inf.) puis marine (calcaires, marnes et dolomies) durant le Jurassique – Crétacé inférieur sur la marge nord localement subsidente de la Téthys occidentale. Le bassin des Causses formait alors un golfe fortement subsident au nord de la région étudiée. Les Causses émergent au cours du Crétacé inférieur. Le bombement régional de « l'isthme durancien » au cours du Crétacé supérieur provoque l'émersion du Languedoc et le développement de bauxites. Des grés et des marnes et des calcaires palustres se déposent pendant le Crétacé terminal-Éocène dans la partie languedocienne. À l'Éocène terminal la région entre en compression ; des plis et des chevauchements superficiels (chevauchement de St. Chinian) (IV fig. 8-3) à vergence se forment dans la partie Languedocienne ; plus au nord à la même époque les failles NE-SW (anciennes failles normales) jouent en décrochement sénestre (FC : failles des Cévennes, fig. 8-3). À l'Oligocène – Miocène inférieur la plateforme languedocienne soumise à une extension NW-SE s'effondre avec la formation de fossés réutilisant les failles majeures anciennes (FC). La morphologie régionale commence à se diversifier avec érosion des régions nord en surrection (Montagne Noire, Causse du Larzac). Enfin au cours du Plio-Quaternaire se met en place un volcanisme basaltique effusif (chaîne de l'Escandorgue) (VI fig. 8-3) dont les coulées fossilisent une ancienne topographie (D5, fig. 8-3) largement inversée dans le nord du Languedoc.

L'histoire géologique de cette région est complexe qui se déroule sur plus de Ma, avec deux périodes tectoniques compressives majeures (hercynienne et pyrénéenne) dans un contexte sédimentaire localement actif (extension au Stéphanien, Permien, Oligocène). Toutefois tous ces événements sont clairement identifiables sur la carte géologique notamment grâce aux diverses discordances soulignées plus haut.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

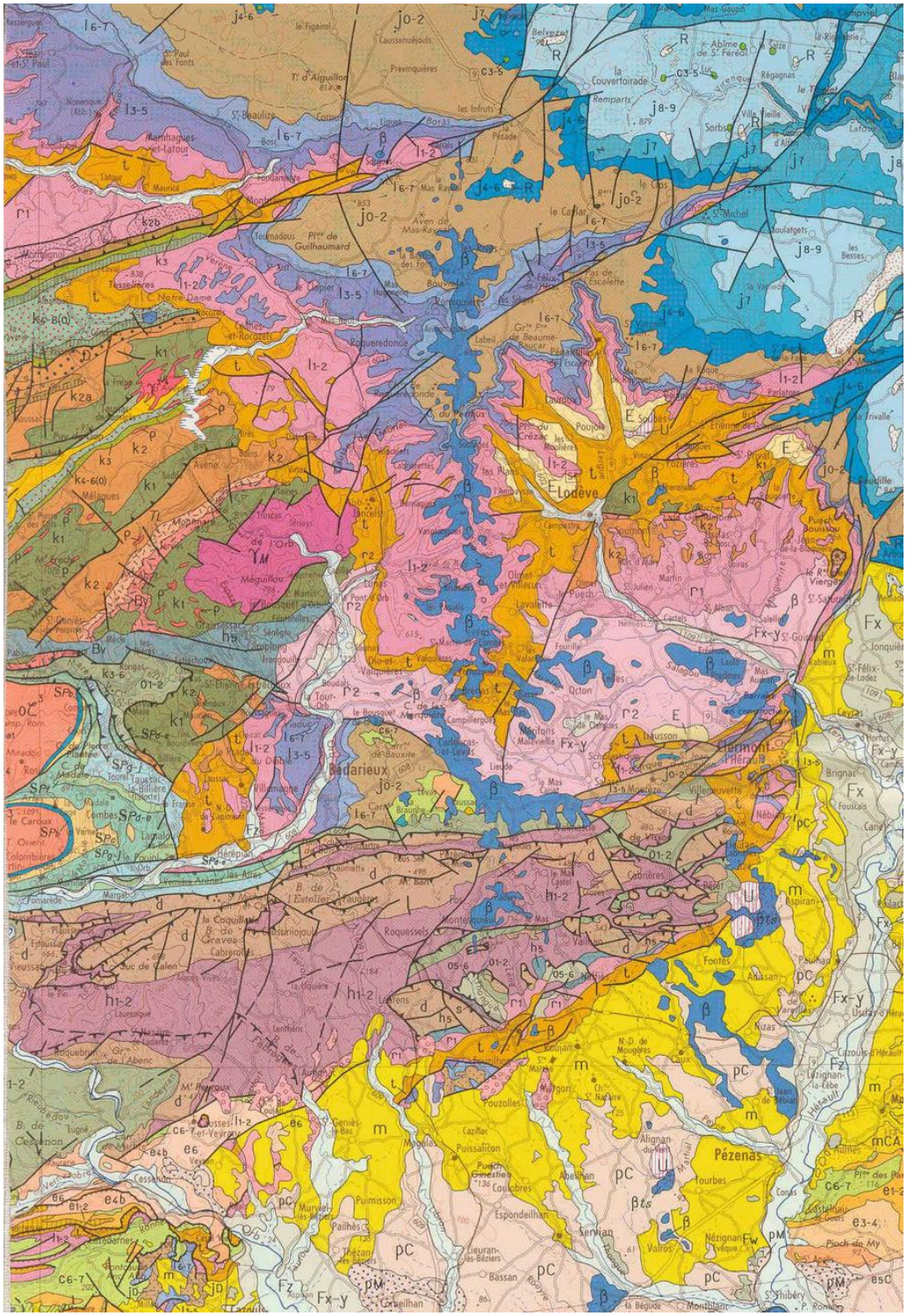



**Figure 8.2** **Extrait de la carte géologique MONTPELLIER n°38 (BRGM), au 1/250 000, partie ouest, centrée sur le secteur de Lodève.**

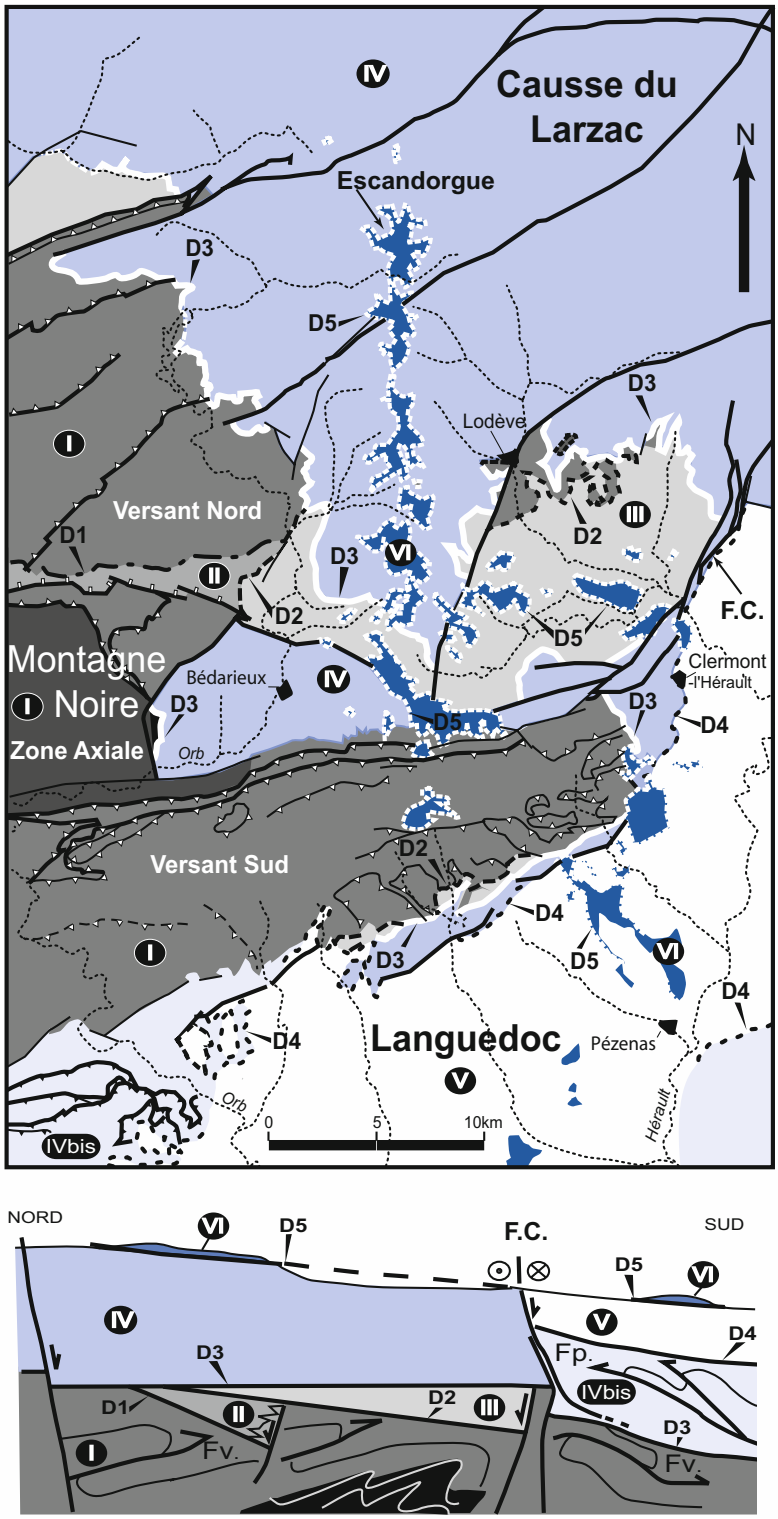



**Figure 8.3** Schéma structural et coupe schématique synthétique de l'extrait de carte géologique MONTPELLIER n°38 (BRGM).

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

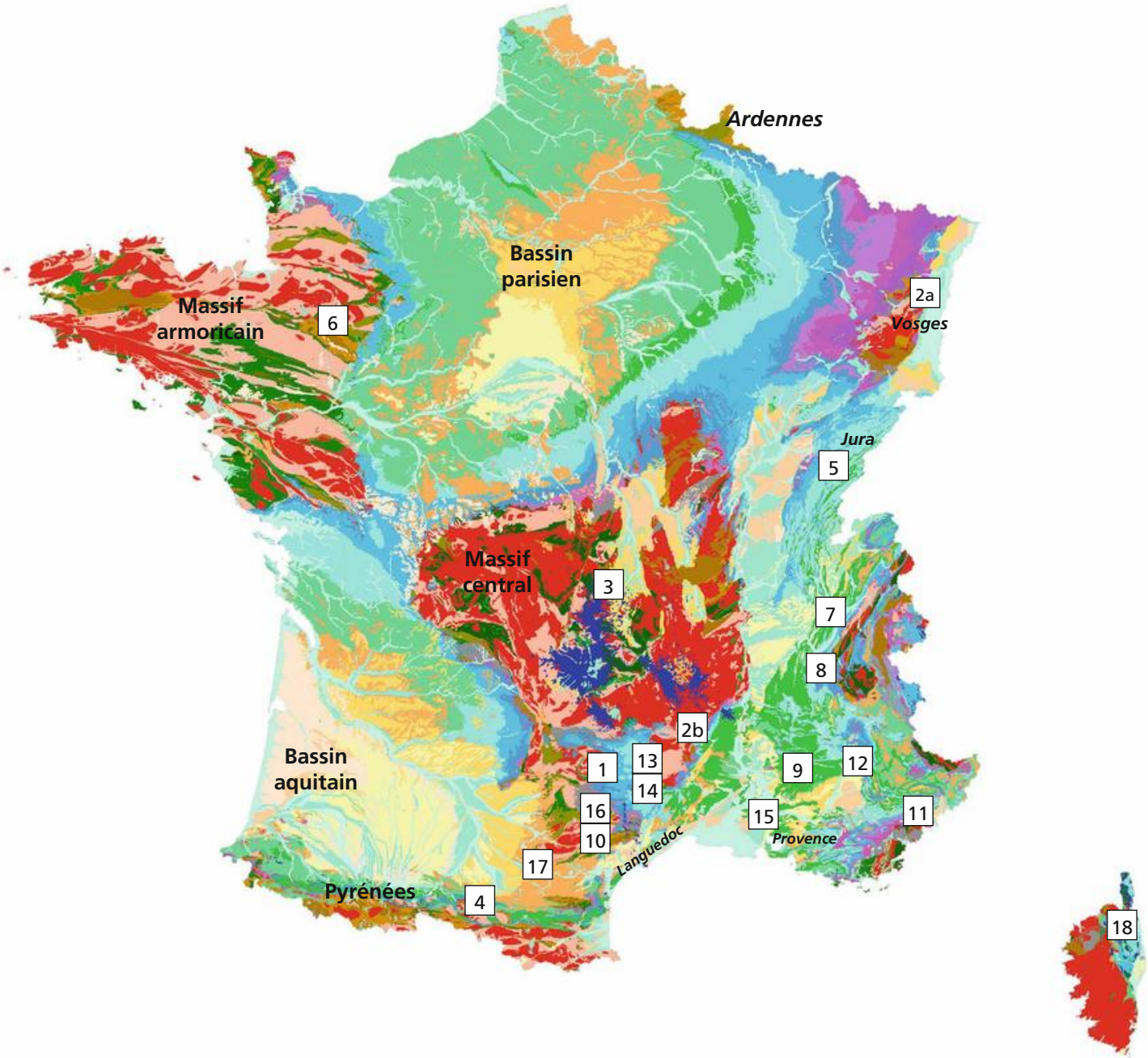



**Figure 8.4** Localisation sur la carte géologique de la France au 1/1 000 000 des extraits de cartes géologiques ayant fait l'objet d'une coupe (chapitre 9).

# ÉTUDES DE CARTES ET COUPES GÉOLOGIQUES

CHAPITRE 9

## Planche 9.0 – La géologie de la France

La Carte géologique au 1/1 000 000, 6e édition révisée (2003), éditée par le BRGM (Bureau de Recherche Géologiques et Minières) sert de présentation et de localisations des extraits de cartes à l'échelle du 1/50 000 étudiés par la suite. Les extraits de cartes qui suivent ont été choisis principalement dans la moitié SE de notre pays pour des raisons aussi diverses que la topographie, la nature et l'intérêt pédagogique des objets géologiques des cartes disponibles.

La France géologique comprend divers ensembles – massifs anciens, chaînes récentes, bassins… – formés de terrains de nature et d'âge très différents dont les plus anciens dépassent 2 milliards d'années.

La France est constituée d'un socle, ou substratum **de massifs anciens** (Massif Armoricain, Massif Central, Vosges et Ardennes), de grands **bassins sédimentaires** (bassin parisien et d'Aquitaine) et de **chaînes récentes** (Alpes, Pyrénées - Languedoc - Provence, Jura).

### Les massifs anciens

Ces massifs qui sont les éléments constitutifs du cycle varisque, sont formés de terrains protérozoïques et paléozoïques sédimentaires déformés et généralement transformés (métamorphiques) et intrudés de nombreux plutons granitiques. Ces déformations et ces transformations se sont produites lors de phases orogéniques vers 550-650 Ma (phase cadomienne) ***(Planche 9.6)*** et entre 285 et 435 Ma, lors de la période hercynienne ***(Planche 9.16 et Planche 9.17)***.

### Les bassins sédimentaires

Après une érosion importante et généralisée du Carbonifère supérieur au début du Trias, qui nivelle les reliefs créés lors de l'orogenèse hercynienne, s'installent dès le début du Mésozoïque de vastes bassins, le bassin parisien et le bassin aquitain ; le SE de la France (bassin du SE) représente alors la marge complexe (hauts-fonds et bassins) de la Téthys océanique d'où va bientôt naître la chaîne alpine.

Le bassin parisien à la forme d'une vaste cuvette centrée sur la région parisienne et déborde sur le sud de l'Angleterre. Dans cette cuvette subsidente se sont accumulés plus de 3 000 mètres de sédiments secondaires et tertiaires. Les séries du Jurassique moyen et du Crétacé supérieur transgressent légèrement vers l'ouest sur le socle armoricain.

Le bassin aquitain, de même âge, verra sa partie sud engagée dans la tectonique tertiaire qui structure la chaîne des Pyrénées ***(Planche 9.4)***.

### Les chaînes récentes

Dans les éléments du cycle orogénique alpin, on distingue :

– le secteur Pyrénées - Languedoc - Provence, formé essentiellement du Crétacé supérieur au début du tertiaire (Éocène) ***(Planche 9.4, Planche 9.10, Planche 9.13, Planche 9.14 et Planche 9.15)***. La partie Languedoc – Provence s'est formée en remobilisant le bassin du SE, entre le sud du Massif Central et la future chaîne alpine ;

– les Alpes, dont la formation s'étend sur plus de 150 Ma ; la structuration de ses zones externes ***(Planche 9.7, Planche 9.8, Planche 9.9, Planche 9.11, Planche 9.12)*** et du Jura ***(Planche 9.5)*** s'achève dans la fin du tertiaire (Miocène et Pliocène). La ***planche 9.18*** donne un aperçu de la tectonique alpine en Corse, dans les zones internes de la chaîne.

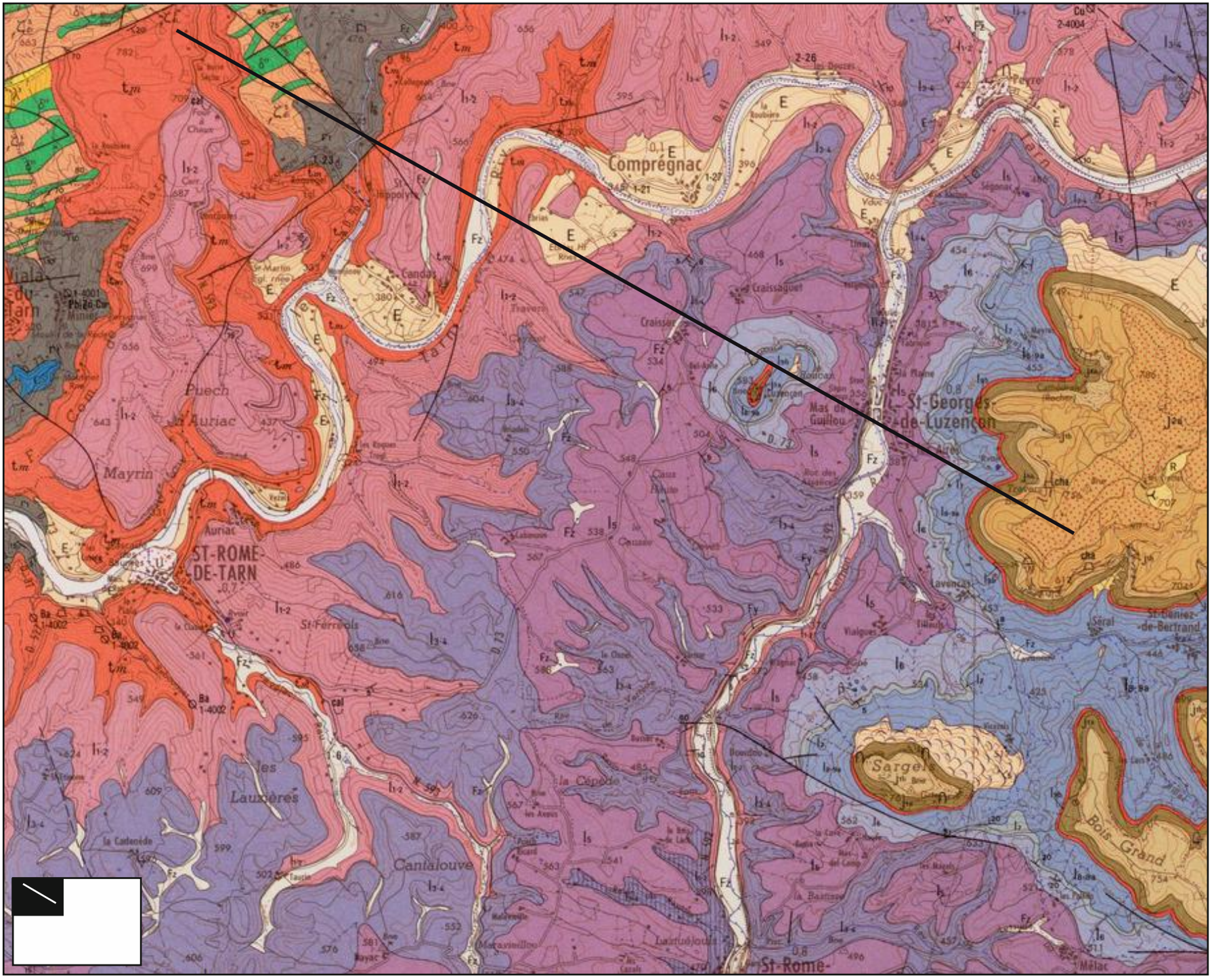
### Fossés et volcanisme récents

Une période d'extension majeure a affecté l'Europe occidentale de la Méditerranée à la mer du Nord, provoquant la formation de fossés dans le Languedoc ***(Planche 9.2a)***, en Alsace (fossé rhénan, ***(Planche 9.2b)*** et au cœur du Massif Central (les Limagnes, ***(Planche 9.3)***). Cette dernière région est le lieu d'un volcanisme important qui débute à l'Oligocène pour se terminer au début du Quaternaire (Planche 3).

***Nota***

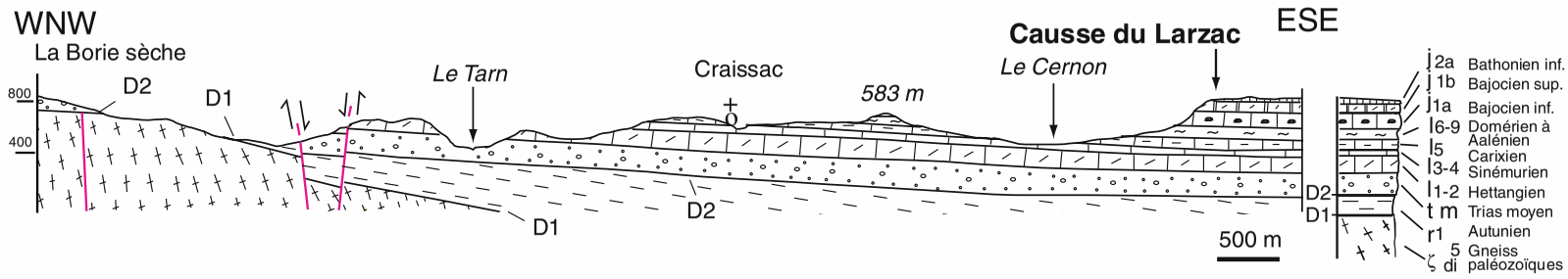
Les 18 cartes géologiques sont placées dans un ordre croissant de difficultés. Ces difficultés sont d'ordre géométrique (disposition et structures) et d'autres chronologiques (superposition de plusieurs évènements au cours d'une histoire géologique longue).

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.


Compregnac
St-Georges-de-Luzençon
Mas de Guillou
Puech Auriac
Mayrin
Auriac
ST-ROME-DE-TARN
St-Ferréols
les Lauzières
Cantalouve
la Cépède
Sargels
Bois Grand
St-Rome-
Mélac
St-Denis-de-Bertrand
Séral
Lavenças
Craissaguet
Candas
Viala-du-Tarn
Tarn

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.1 – Structure tabulaire : Feuille Millau (935)

Cet extrait du coin NW de la feuille de Millau est situé sur le bord sud du Massif Central. Le paysage y est déterminé par le creusement des vallées du Tarn et de ses affluents ; à l'Est de Saint-Georges-de-Luzençon débute le plateau du Causse du Larzac. Ce secteur montre au NW le socle métamorphique paléozoïque (ξ et δ) du Massif Central, érodé et recouvert en discordance angulaire majeure par un ensemble détritique (r1) d'âge Stéphanien (Carbonifère supérieur) à Autunien (Permien inférieur). Puis, avec une seconde discordance, le Trias est transgressif et une série marine continue s'accumule jusqu'au Bathonien (j2) au moins sur cet extrait de carte.

### Caractères de la structure tabulaire

Les limites des formations de la série secondaire longent les courbes de niveau, montrant que les couches sont d'altitude constante, subhorizontales. À l'échelle de la coupe, les couches descendent doucement vers l'Est.

Dans le versant du causse à l'Est de Saint-Georges-de-Luzençon, il est possible d'estimer l'épaisseur d'une formation en comptant le nombre de courbes de niveau qu'elle contient, et en le multipliant par 20 m (équidistance des courbes de niveau) : l8-9a fait ainsi de l'ordre de 80 m, l9b 20 m, j1a 100 à 120 m.

Au Nord-Ouest de la coupe, deux failles orthogonales ont des pendages forts, car elles traversent tout droit, sans faire de "V", la vallée d'un ruisseau affluent du Tarn. Leur rejet (décalage) vertical peut être connu en regardant la différence d'altitude de la limite de couches l1-2/tm ; mais leur éventuel rejet horizontal ne peut être déterminé.

### Discordances et histoire tectonique

Au Nord-Ouest, et au Nord du trait de coupe, on voit très bien l'Autunien (r1) reposer sur différents ensembles métamorphiques du socle paléozoïque complexe, aux limites à pendage fort. La base de l'Autunien, surface régulière basculée vers le Sud-Est, est une partie de la vaste surface d'érosion post-hercynienne que l'on connaît à l'échelle de la France. La discordance est majeure, car c'est en kilomètres qu'il faut compter la remontée de roches métamorphiques par érosion qui les a ramenées en surface.

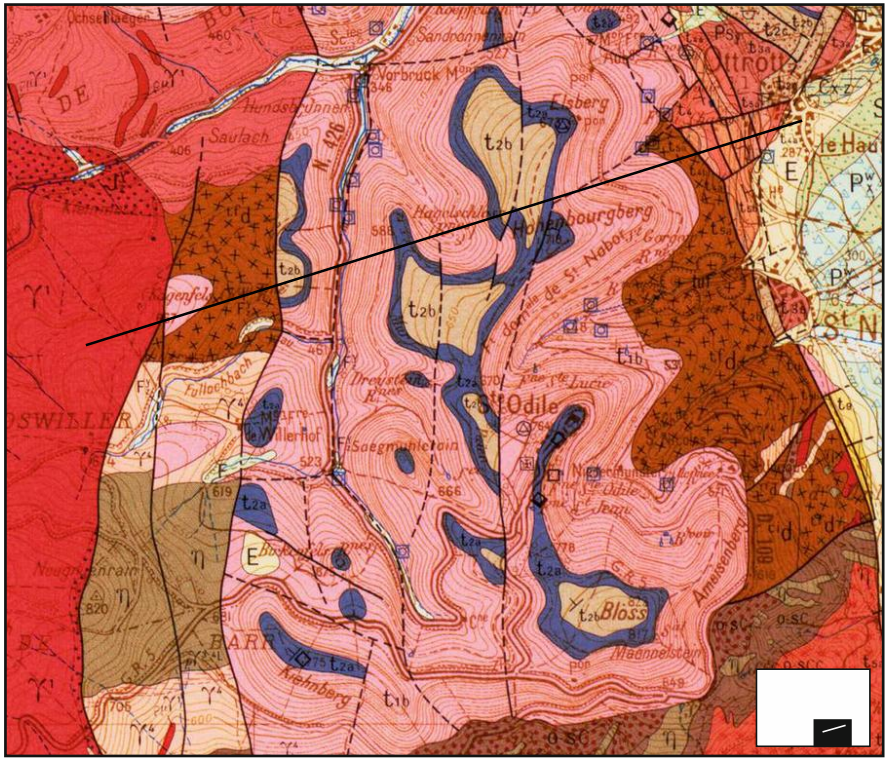
Après son dépôt, l'Autunien est basculé et partiellement érodé. Ceci se voit au Sud du trait de coupe, où le Trias subhorizontal repose en discordance modérée sur l'Autunien, et même directement en discordance majeure sur le socle hercynien là où l'Autunien a été érodé.

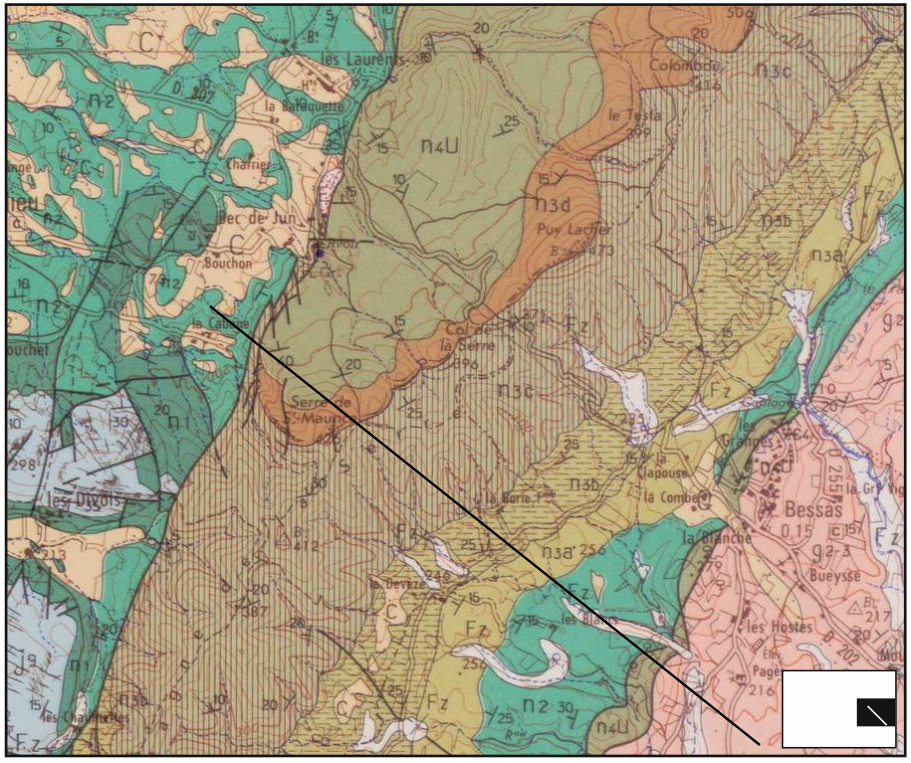
Après le dépôt de la série secondaire, seules quelques failles témoignent d'une tectonique modérée. Signalons l'existence, au Nord-Ouest de la coupe, d'une faille ancienne dirigée NE-SW qui affecte le socle, et qui est cachetée par l'Autunien d'un côté et le Trias de l'autre.

### Morphologie et géologie

L'extrait de carte montre un paysage de collines et de vallons creusés dans les calcaires et les argiles du Lias. C'est dans l'Est de la carte que l'on trouve un élément caractéristique du paysage en structure tabulaire, le début du plateau du Causse du Larzac. Ce plateau est armé par un ensemble résistant à l'érosion de calcaires et dolomies du Jurassique moyen. Ces terrains sont perméables, l'eau s'y infiltre et n'y ruisselle pas, empêchant l'érosion. Ils ne sont sensibles qu'à la dissolution karstique, dont témoignent de nombreuses dolines (dépressions, entonnoirs) et gouffres.

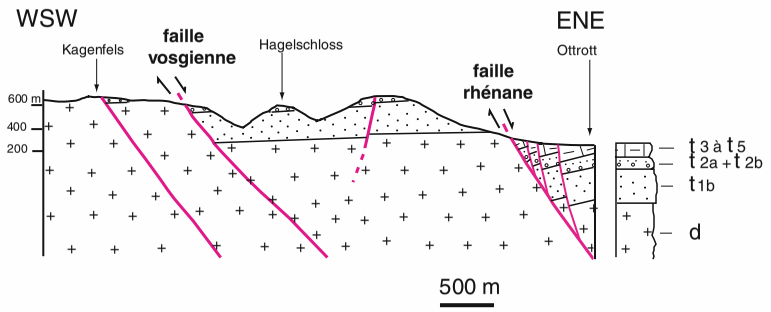
*Remarque* : La partie profonde de la coupe est interprétée de façon simple, donc incertaine, en faisant les hypothèses suivantes : le Trias a été prolongé en conservant son épaisseur, en discordance légère sur l'Autunien, lui aussi prolongé simplement sans failles.

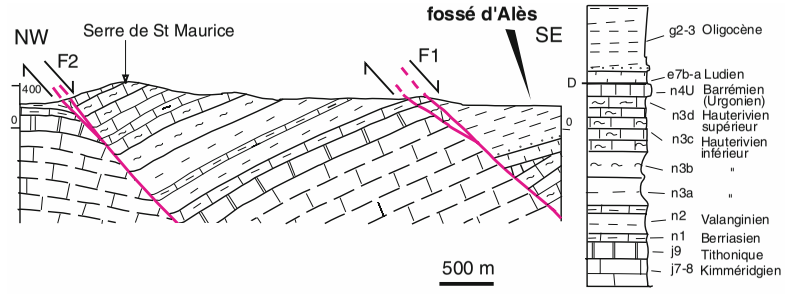

Ottrott
Saulach
Elsberg
Hohenbourgberg
St Odile
Bloss
Saegmuhlstein
Amelsenberg
Kiehnberg
Fullochbach
Dreystein
Ste Lucie
Ste Odile
Maennelstein
Vorbruck
Hundsbrunnen
Sandronnenhof
Ochsenlaegen
Kagenfels
Nouguenenrain
Bockenfels
Hagelschlag
Dreystein
Niedermunster
Wallerhof
Le Wallerhof
N. 426
D. 109
le Haut
St N
OSWILLER
BARR
E
t2b
t2a
t1b
t1d
t4
t9
t3a
t2a
t2b
Psy
Pw
Cxz
S
L
d
η
γ
γ'
o.sc
Fz
F
Y
Y'


les Laurents
la Balaquette
Charrier
Bec de Jun
Bouchon
Colombou
le Testa
Puy Lacher
Col de la Serre
Serre de St Maur
les Dyvols
la Clapouse
la Combe
la Borie
la Blanche
Bessas
Bueysse
les Hostes
la Devèze
les Blancs
n4U
n3d
n3c
n3b
n3a
n2
n1
C
Fz
F
D. 307
D. 255
D. 202
D. 109

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.2 – Failles normales, tectonique en extension : feuilles Molsheim (271) et Bessèges (888)

Pendant l'Oligocène (33 à 24 Ma environ), un régime de tectonique en extension a affecté la France. Dirigée E-W à NW-SE selon les régions, l'extension a créé des fossés (grabens) tels le fossé rhénan, la Limagne, le bassin d'Alès, remplis de sédiments d'âge oligocène. Limités par des failles normales dont ils forment le toit, ils peuvent atteindre 3 km de profondeur, tandis que le mur des failles peut se soulever puissamment (massifs des Vosges et de la Forêt-Noire). Sur les cartes géologiques, les fossés se repèrent bien par leurs failles bordières et leur remplissage plus jeune que les terrains qui les encadrent.

Il est rare de pouvoir observer, sur les cartes, le sens de pendage de failles normales par la méthode du « V » dans les vallées. En effet, leur pendage est souvent supérieur à 60°, et leur tracé dans un relief peu accentué est alors quasi-rectiligne. Dans bien des coupes, force est donc de décider du pendage normal d'une faille par la logique, vers le fossé, après avoir repéré sur la carte les caractères montrant l'existence du fossé.

Ces deux extraits de carte montrent des failles normales d'assez faible pendage, qui peut être déterminé cartographiquement.

### a) Carte Molsheim

À l'Ouest de Strasbourg, cet extrait montre une partie du système de failles occidental du fossé rhénan ; il affaisse la plaine d'Alsace, à l'Est, par rapport au massif vosgien soulevé à l'Ouest. Dans ce massif, on observe le socle primaire (D), surtout granitique, très érodé puis recouvert en discordance majeure par les grès et les conglomérats du Trias inférieur et moyen (t1b puis t2a + t2b), le Trias supérieur (t3 à t5) plus franchement marin étant surtout calcaire. La carte et la coupe montrent deux failles majeures : la faille vosgienne (FV) et la faille rhénane (FR), accompagnées de failles secondaires. La faille vosgienne dessine des « V » dans les vallées V1 et V2, qui montrent son pendage vers l'Est, où elle affaisse les terrains d'environ 400 m. La méthode des horizontales permet d'estimer son pendage autour de 40°. Le relief trop plat empêche de voir le pendage de la faille rhénane qui, par analogie structurale, est dessiné vers l'Est. Les failles secondaires proches d'elle, synthétiques (pendage et affaissement dans le même sens, vers l'Est), en sont probablement des ramifications associées. Compte tenu des épaisseurs des terrains du Trias données par la notice de la carte, son rejet est de l'ordre de 800 m.

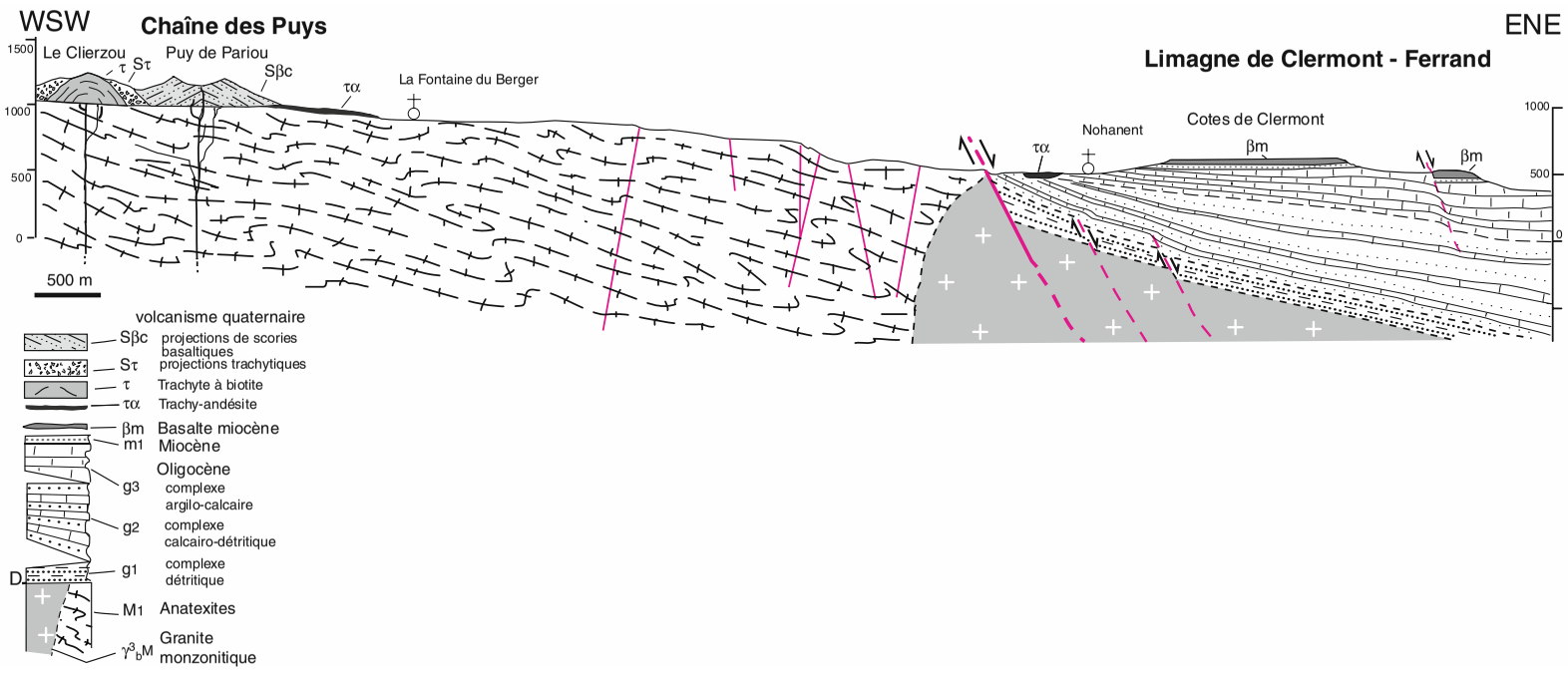
### b) Carte Bessèges

Au Sud-Est du Massif central, l'extrait de carte se situe entre les Cévennes et la vallée du Rhône. On y voit à l'Ouest la série marine du Crétacé inférieur et moyen, dont les déformations modérées par la tectonique pyrénéenne au Crétacé supérieur et à l'Éocène supérieur sont peu visibles sur ce petit extrait. Les deux failles F1 et F2 dirigées NNE-SSW appartiennent au grand système de failles des Cévennes qui s'étend sur 150 km au moins de la vallée du Rhône à la Montagne Noire. Formées au Carbonifère à la fin de l'orogénèse hercynienne, ces failles ont joué à diverses reprises (voir planches 9.13 et 9.14) ; ici, c'est leur jeu en extension à l'Oligocène qui s'observe le mieux. Les « V » dans les vallées montrent que la faille F1 a un pendage faible, de l'ordre de 30°. Ce faible pendage, le basculement des puissants dépôts oligocènes ($g_{2\text{-}3}$) vers la faille, et les pendages comparables de la série crétacée à l'Ouest de la faille indiquent un basculement d'ensemble des terrains et de la faille lors de la tectonique en extension. De tels basculements, sont fréquemment observés dans les régions ayant subi une extension d'ordre kilométrique.

Chanat-la-Mouteyre
Cébazat
Blanzat
Sayat
Nohanent
Durtol
Orcines
Chamalières
Royat
Côte Verte
Ternant
Bois de Pérol
Bois du Girardet
Bois de la Rigaude
Col des Gouttes
Bartrand
Trementeix
Fyz
Les Ormeaux
Clarques
Les Bruyères

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.3 – Tectonique en extension, graben et volcanisme : feuille Clermont-Ferrand (693)

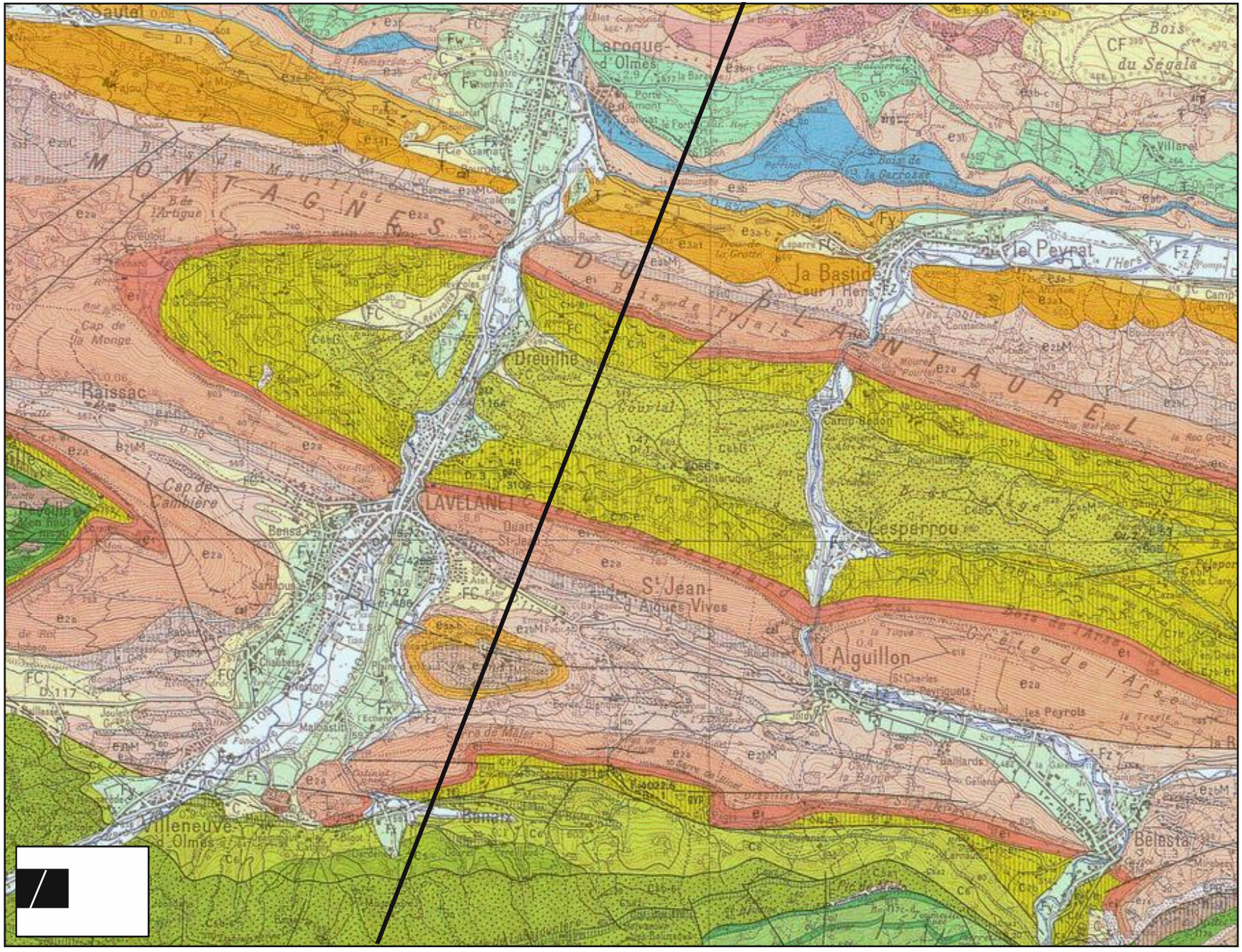
Le socle ancien du Massif Central, constitué ici de roches métamorphiques (gneiss d'anatexie antéhercyniens, $M^1$) intrudées de plutons granitiques hercyniens ($\gamma^3$ $b^M$), forme un plateau de 700 à 900 m d'altitude qui surplombe vers l'Est la dépression de la Limagne de Clermont.

### La dépression de la Limagne

Celle-ci est formée de dépôts tertiaires très épais (plus de 1 000 m), continentaux (grès, argiles et calcaires lacustres). Le contact entre le socle ancien et les dépôts tertiaires se fait par des failles normales de direction N-S, à fort pendage vers l'Est, délimitant des escaliers descendant vers l'Est. La dépression de la Limagne représente un graben dont on voit ici le bord occidental, mais qui possède vers l'Est une disposition symétrique en bordure des Monts du Forez. Les dépôts tertiaires s'épaississent vers le centre du fossé, où la subsidence était la plus forte. L'absence de dépôts détritiques grossiers (brèches, blocs, olistolites) au voisinage des failles indique qu'il existait un équilibre entre la sédimentation du fossé et l'érosion des zones de bordure.

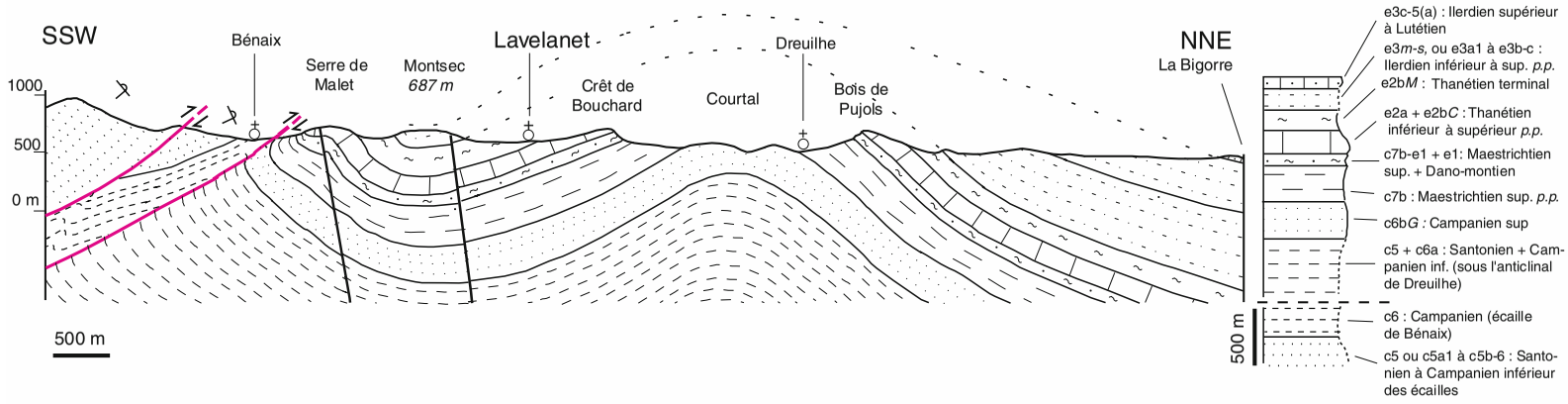
### Le volcanisme

Des phénomènes volcaniques se sont produits, d'une part au cours du Miocène et du Pliocène, puis plus récemment au Quaternaire. Les produits des premiers événements volcaniques (coulées de basalte βm, βp), fortement érodés, forment des placages discontinus sur le socle ancien ou le sommet de plateaux (Côtes de Clermont), par inversion de relief due à l'érosion plus facile des dépôts tendres de la Limagne. Les produits du volcanisme récent (Quaternaire) présentent une morphologie bien conservée de cônes volcaniques, de dômes et de coulées de lave.


Sautel
Laroque-d'Olmès
Bois du Ségala
MONTAGNES DU PLANTAUREL
Bois de Pujols
Bois de la Garrosse
Villaret
le Peyrat
la Bastide sur l'Hers
Dreuilhe
Raissac
Cap de la Monge
Cap de Cambière
LAVELANET
Camp Sedon
Lesparrou
St Jean-d'Aigues Vives
l'Aiguillon
Grète de l'Arse
les Peyrots
Villeneuve-d'Olmès
Bélesta

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.4 – Structure plissée simple : feuille Lavelanet (1076)

La carte de Lavelanet est située sur la bordure nord des Pyrénées, à l'Est de celle de Foix. Elle montre les structures les plus externes de la chaîne pyrénéenne, et aussi les plus tardives dans sa structuration : leur âge est surtout fini-éocène (Bartonien) au Nord.

### Un anticlinal simple moyennement érodé

La structure marquante au milieu de l'extrait de carte est le classique anticlinal de Dreuilhe (ou de Lavelanet), d'axe N 110°, dont la terminaison périclinale ouest est bien visible. La carte et la construction de la coupe montrent qu'il s'agit d'un pli presque droit (symétrique), à peine déjeté vers le Nord.

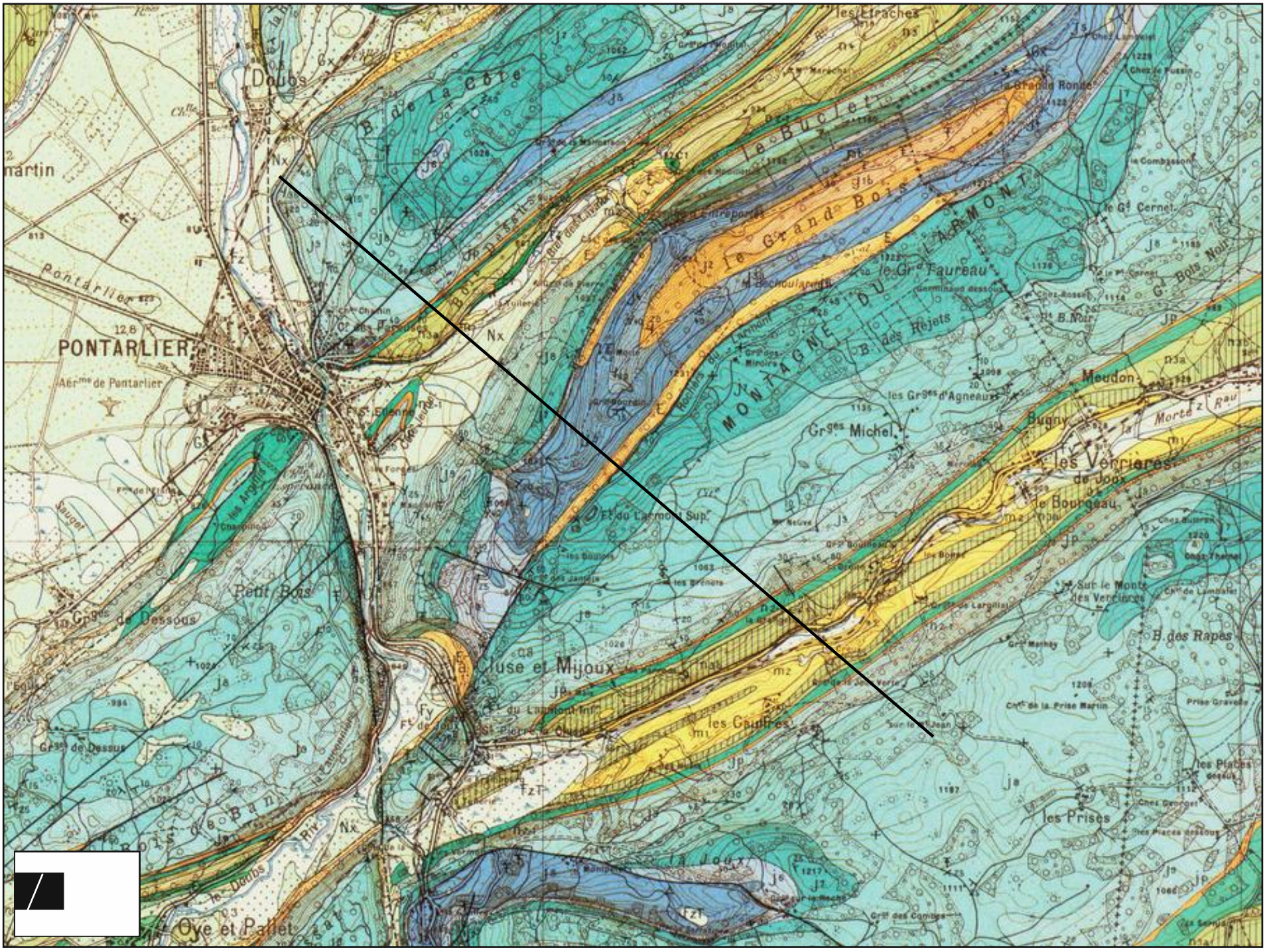
L'érosion des argiles tendres du Maestrichtien supérieur (C7b) a évidé le pli en combe. Ces argiles surmontent des grès plus résistants du Campanien supérieur (C6bG) dont les collines forment un mont dérivé au cœur du pli. Dans les deux flancs du pli, les calcaires durs du Thanétien arment les crêts du Bois de Pujals au Nord et la Crête de Bouchard au Sud. Les "V" dans les vallées des cours d'eau qui traversent le pli en cluse montrent bien le sens de pendage des couches, ainsi que l'intersection des limites de couches avec les courbes de niveau.

Au Sud de Lavelanet, la butte témoin de Montsec, armée par l'Ilerdien moyen et supérieur (e3*m-s*), est un fond de synclinal perché légèrement faillé. Les traits en tiretés prolongeant cette formation vers le nord montrent une forte variation latérale d'épaisseur de la série, dont les subdivisions sur la carte n'ont pas été figurées sur la coupe. Au Nord de l'anticlinal de Dreuilhe, cet épaississement montre une subsidence de l'avant-pays de la chaîne à cette époque ; les puissants apports détritiques qui alimentaient la série proviennent de l'érosion de la chaîne pyrénéenne, en surrection au Sud de l'extrait de carte à cette époque.

### Chevauchement de la chaîne des Pyrénées sur son avant-pays

Au Sud du synclinal de Montsec, la coupe traverse deux longs contacts anormaux dirigés N90°. Les indentations du contact méridional dans les vallons montrent son pendage faible vers le Sud. Cet accident fait chevaucher vers le Nord une série renversée, surtout gréseuse, allant du Turonien-Coniacien (C3-4) au Santonien supérieur-Campanien (C5b-6), sur l'unité de Villeneuve d'Olmès - Bénaix. Celle-ci, renversée aussi, est constituée de Santonien (C5) et de Campanien (C6).

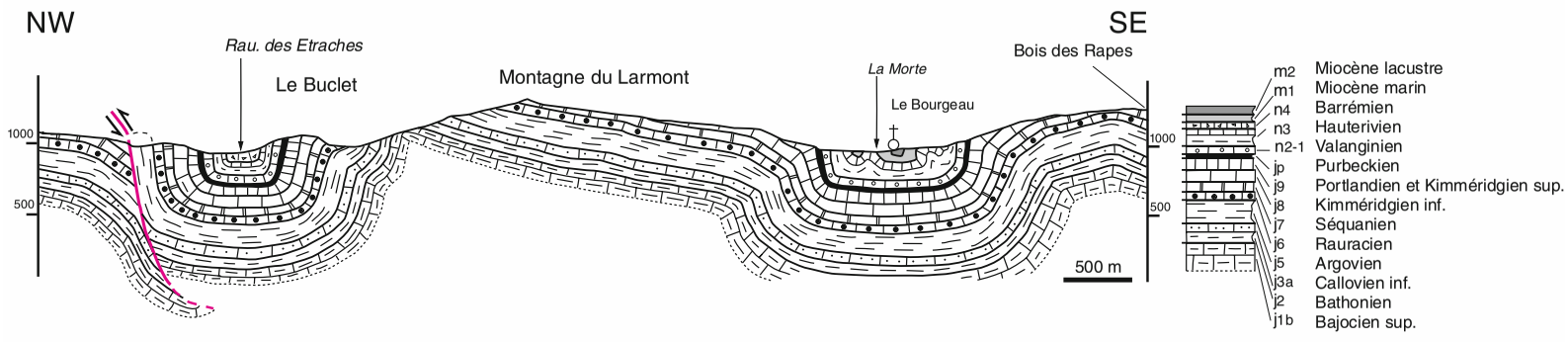
On voit bien sur la carte et la coupe que l'intensité de la déformation de la chaîne diminue vers son avant-pays au Nord.



PONTARLIER
Aérme de Pontarlier
Doubs
B. de la Côte
le Buclet
le Grand Bois
MONTAGNE DU LARMONT
le Grd Taureau
B. des Rejets
Grges Michel
les Verrières de Joux
le Bourgeau
Meudon
Bugny
Morte z Rau
Petit Bois
Grges de Dessous
la Cluse et Mijoux
les Gaulfres
les Prises
B. des Rapes
Oye et Pallet

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.5 – Structure plissée de type jurassien : feuille Pontarlier (557)

La carte de Pontarlier se situe entre le Jura externe (au NW), dit Jura plissé et le Jura interne (au SE) appelé Jura des plateaux et des faisceaux.

### Des plis de forme particulière

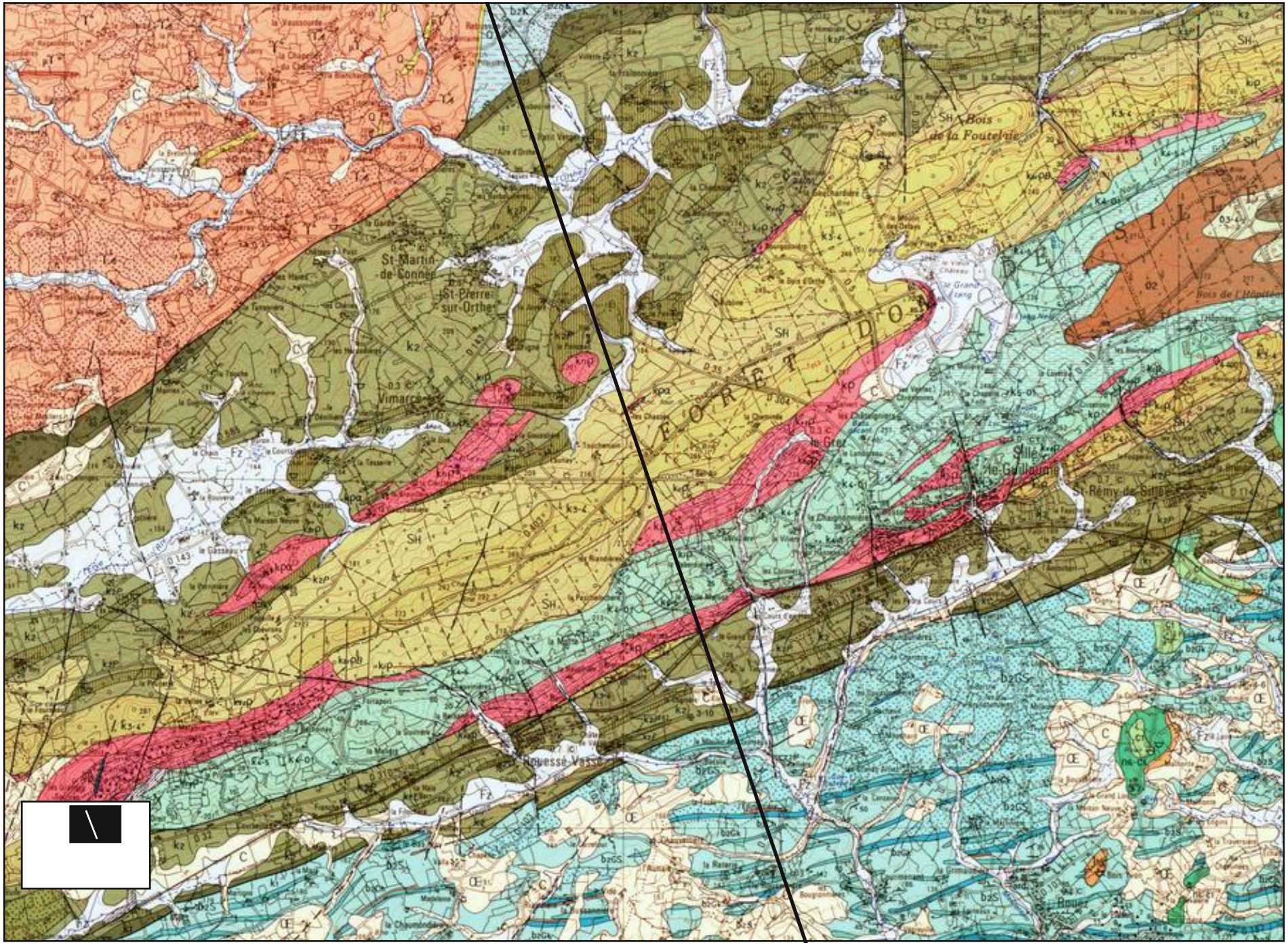
La région est formée d'une couverture sédimentaire mésozoïque et cénozoïque plissée et faillée. Les plis, de direction NE-SW, sont droits avec généralement des anticlinaux larges et des synclinaux étroits. Les flancs de ces derniers sont parfois verticaux, et leur fond plat et horizontal (synclinaux coffrés ou en auge). Des replis peuvent affecter les terrains miocènes au cœur des synclinaux ; ils sont interprétés comme des phénomènes de glissements gravitaires sur les flancs des synclinaux (collapse), contemporains du plissement.

L'âge du plissement est post-Miocène.

### Faille décrochante et plis

Un accident vertical N-S (faille de Pontarlier) coupe les plis et les déforme à son voisinage, indiquant un jeu sénestre. De plus, la non-correspondance des plis en nombre et en forme de part et d'autre de cette faille indique qu'elle à joué pendant le plissement : dans les deux compartiments séparés par la faille de Pontarlier, les plis se sont formés indépendamment. Ces failles permettant une déformation différente dans les deux domaines qu'elles séparent sont appelées failles de transfert.

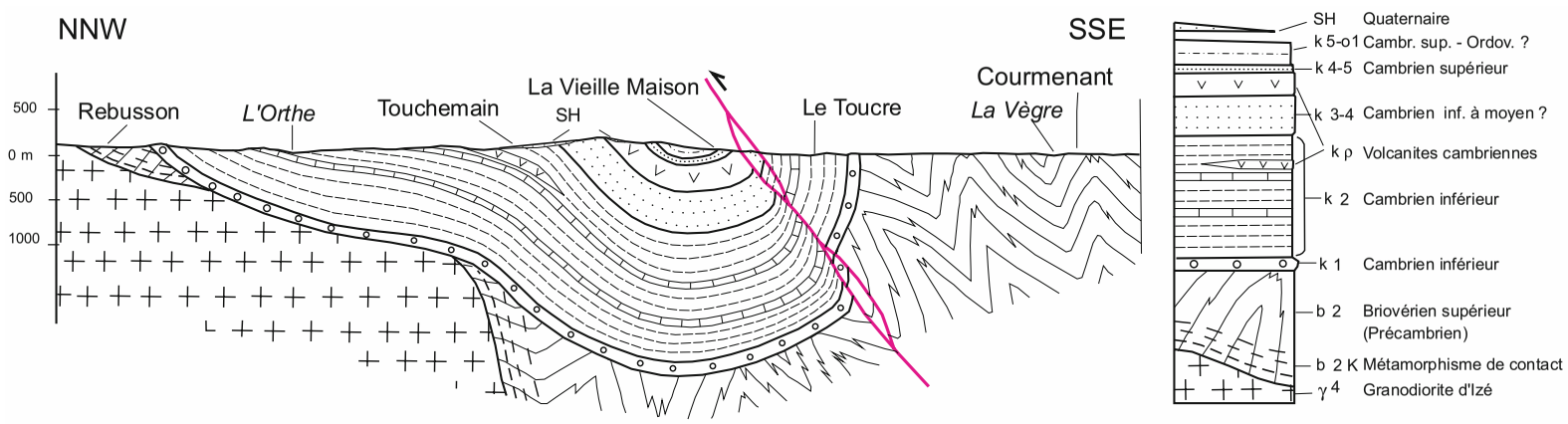
La morphologie de la région est conforme : aux plis anticlinaux correspondent des monts tandis qu'aux synclinaux correspondent des vallées (vaux).



St-Martin-de-Connée
St-Pierre-sur-Orthe
Vimarcé
FORET DON DE SILLE
Bois de la Foutelaie
Sillé-le-Guillaume
St-Rémy-de-Sillé
Rouessé-Vassé
Rouez

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.6 – Plissements superposés (polyphasés) : feuille Sille-le-Guillaume (321)

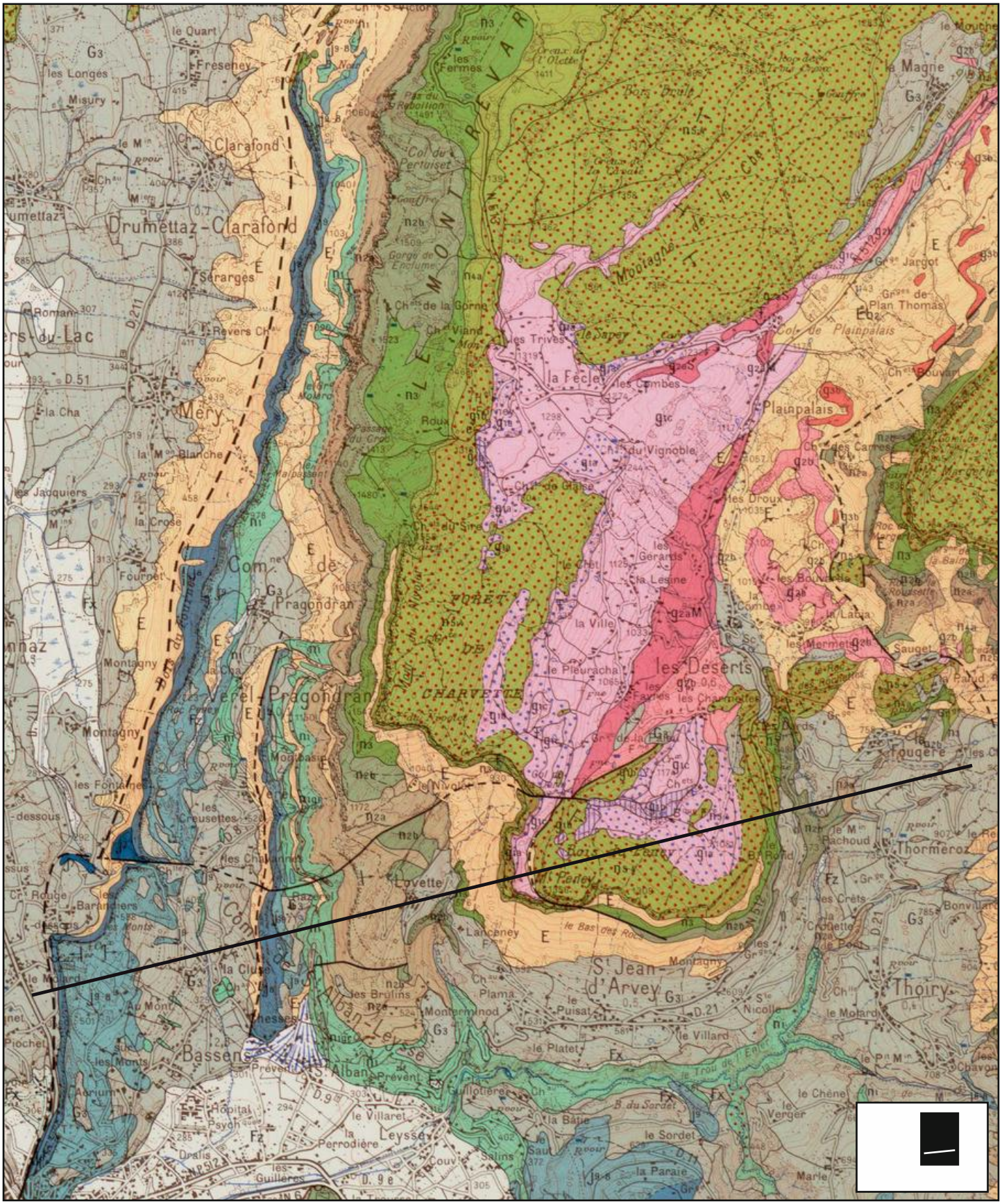
Aux confins du Massif Armoricain et du Bassin Parisien, cet extrait de la carte de Sillé-le-Guillaume montre des séries sédimentaires affectées de **plis d'axes ENE-WSW**. Une série d'âge Cambrien à Ordovicien inférieur (1 500 m) forme le synclinal de Sillé-le-Guillaume, vaste pli dissymétrique vers le nord. Une **faille inverse** de même direction cisaille son flanc sud. Ce pli est attribué à la tectonique compressive **hercynienne** (400 à 300 Ma). Il est parfois recouvert par des **nappes de colluvions** (SH) étalées pendant les périodes froides du Quaternaire.

### Les différentes formations géologiques

La base du Cambrien (k1) est **discordante** sur divers terrains plus anciens : au sud du synclinal de Sillé, sur une épaisse série de type **flysch** (niveaux b2, alternances d'argiles et de grès), d'âge **Briovérien supérieur** (avant 570 Ma). Près de l'extrémité sud-est du trait de coupe, des signes de pendages de sens opposés (vers le sud ou le nord) et de brusques virgations des niveaux b2 révèlent des plis serrés dans le Briovérien. Au nord du synclinal de Sillé, le Cambrien basal (k1) repose sur une surface d'érosion qui tranche une **intrusion granitique** (γ4, Granodiorites d'Izé, environ 540 Ma), ou des roches briovériennes **métamorphisées** appelées **cornéennes** (b2k) qui ont été fortement chauffées lors de la mise en place de cette intrusion (**métamorphisme de contact**). Sur la carte, la base du Cambrien (k1) est soulignée par un contact tectonique. En effet, des complications tectoniques et un amincissement local du k1 ont été observés le long de cette limite entre deux puissants ensembles géologiques différents. Les mouvements différentiels à la limite d'ensembles géologiques s'expliquent souvent par la différence de leurs propriétés mécaniques.

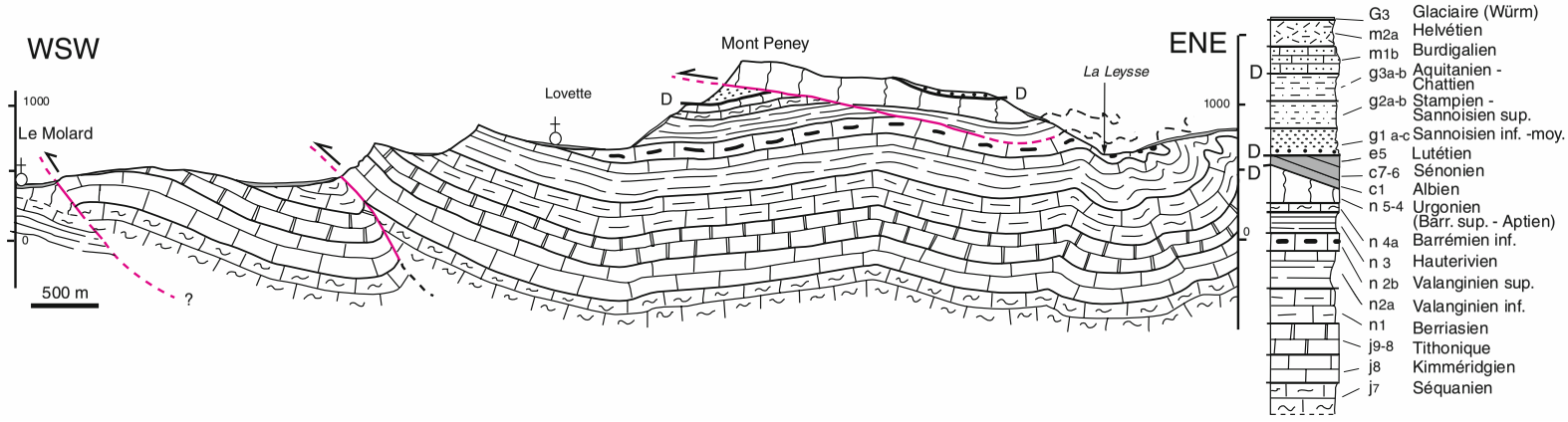
### Une histoire tectonique polyphasée

La carte de Sillé-le-Guillaume montre quelques étapes de l'histoire géologique régionale. La série briovérienne (b2) a été plissée lors de la **tectonique cadomienne**. Une **intrusion granitique** (γ4, granodiorite d'Izé) s'est ensuite mise en place, provoquant un **métamorphisme à son contact**. Ensuite, une forte érosion a fait affleurer ces terrains en surface, où ils ont été recouverts en discordance par les premiers niveaux cambriens (k1), car ceux-ci reposent tantôt sur le Briovérien (b2), tantôt sur l'intrusion granitique (γ4) ou sur son auréole métamorphisme (b2k). Une forte **subsidence** a ensuite permis l'accumulation de plus de 1 500 m de série cambro-ordovicienne, intercalée de produits d'éruptions volcaniques acides (kr). Une nouvelle période de compression (**tectonique hercynienne**, 400 à 300 Ma environ) a ensuite formé le grand pli synclinal de Sillé-le-Guillaume). La coupe suggère que les premiers plis du Briovérien serrés, ont été repris par le plissement hercynien. Ces **plis superposés** montrent que la tectonique a été polyphasée.


le Quart
Freseney
les Longes
Misury
Clarafond
Drumettaz-Clarafond
Sérarges
Revers
Mery
la Cha
la Croise
Fournet
Pragondran
Montagny
les Fontaines
les Creusettes
Vovettes
Lovette
Lancaney
la Cluse
Bassens
St Alban
St Jean-d'Arvey
Montermonod
Plama
le Puisat
le Platet
le Villard
Thoiry
Thormeroz
Rougère
les Déserts
la Fecley
les Combes
Plainpalais
Col de Plainpalais
Plan Thomas
Jargot
la Magne
les Fermes
Col du Pertuiset
Gorge de Enfumé
Chât de la Gorne
Chât Viand
les Trives
Roux
Chât du Vignoble
Chât de Chaise
les Droux
les Gerands
la Lesine
la Ville
le Pleuracha
les Charmettes
Bois Pelay
le Bas des Roches
le Nivolet
Forêt de Charvette
Mont Nivolet
Chât de la Bâtie
le Sordet
la Paraie
le Chêne
le Verger
Marle
Salins
Couv
les Guillères
Perrodière
le Villaret
la Leysse
Hôpital Psych
Aorium
Au Mont
les Monts
Piochet
Barandiers
Cr Rouge
Chât de Montrevard
Chât de Montagne
Chât de Pragondran
Chât de Vérel-Pragondran
Chât de St Alban-Leysse
Chât de Bassens
Chât de Thoiry
Chât de Thormeroz
Chât de Rougère
Chât de Sauget
Chât de Plainpalais
Chât de Fecley
Chât de Déserts
Chât de Montagne
Chât de Montagne
Chât de Montagne

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.7 – Plis et failles inverses : feuille Chambéry (725)

Le massif des Bauges, au Nord des chaînes subalpines, présente un style morphologique et tectonique que l'on retrouve dans celui des Bornes, plus au Nord, ou ceux de la Grande Chartreuse et du Vercors, plus au Sud.

### Le style tectonique

Le massif des Bauges est constitué de formations essentiellement mésozoïques modérément plissées et faillées. Le plissement augmente toutefois d'Ouest en Est, à l'intérieur du massif montagneux (hors coupe). Plis et failles, de direction NNE-SSW, sont souvent associés en systèmes de pli-faille. Les plis sont alors déversés vers l'Ouest. Les failles principales qui affectent le versant occidental du massif, sont à pendage vers l'Est et ont un jeu inverse. Il est probable que ces failles se raccordent en profondeur à des niveaux de décollement situés dans le Jurassique inférieur ou le Trias.

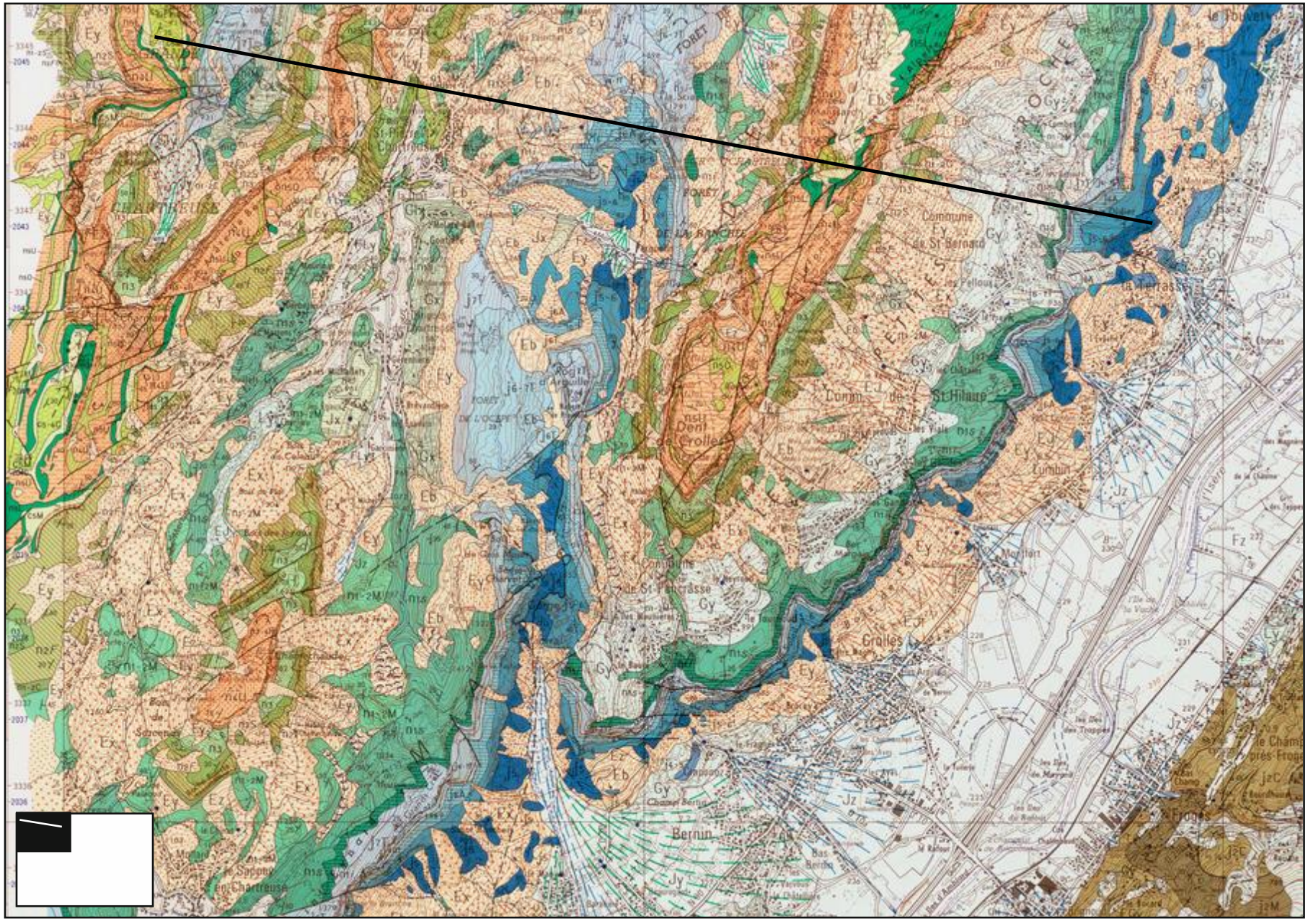
Des accidents secondaires comme celui du Mont Peney, à faible pendage vers l'Est, faisant chevaucher les calcaires urgoniens (n5-4) sur les grès et conglomérats oligocènes (g1 a-c) montrent qu'il s'est également produit des décollements (limités) relativement superficiels dans la série sédimentaire.

### Âge de la tectonique

L'âge de la déformation majeure se situe au Miocène supérieur, après le dépôt des molasses (Helvétien) qui sont coincées dans les failles inverses et plissées (non visible sur la coupe). Les lacunes et les discordances des terrains éocènes et oligocènes sont à mettre en relation avec les mouvements tectoniques précoces qui affectent plus fortement les zones plus internes (vers l'Est) des Alpes.

### Érosion et morphologie

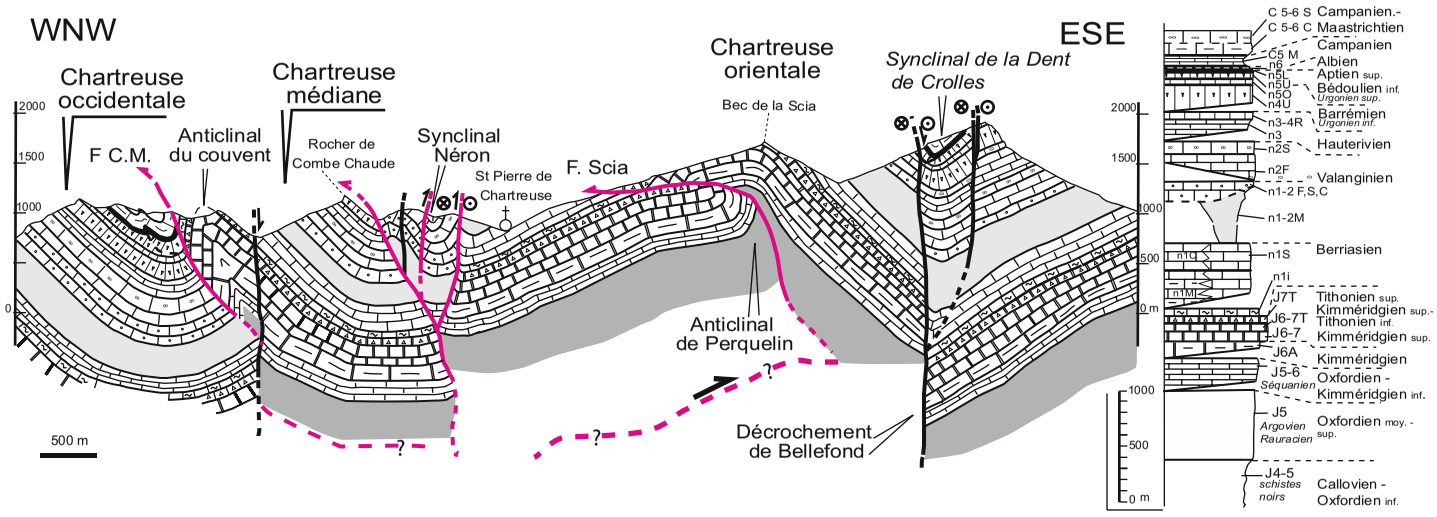
La morphologie du massif est contrôlée par les structures en plis et en failles ; elle est liée à l'action de l'érosion qui souligne les contrastes lithologiques de la série sédimentaire : le Tithonique (J9) et l'Urgonien (n5-4), calcaires et plus résistants que les termes argileux et marneux du reste de la série, arment les crêtes, les arêtes et plateaux.



Dent de Crolles
Commune de St Pancrasse
Commune de St Bernard
St Hilaire
Crolles
Bernin
Lumbin
Montfort
Froges

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.8 – Plis, chevauchements et décrochements : feuille Domène (773)

La série jurassique et crétacée du Massif de la Chartreuse (Chaîne subalpine ou zone externe des Alpes) est plissée et faillée de manière complexe, impliquant plusieurs étapes dans la structuration de ce massif montagneux.

### Des plis et des chevauchements

Les plis de direction N-S à NNE-SSW, d'ampleur kilométrique, sont déjetés et déversés à l'ouest (anticlinal du Couvent) dans la Chartreuse occidentale et centrale, déjetés ou déversés à l'est, dans la Chartreuse orientale. En Chartreuse occidentale et médiane des chevauchements et des failles inverses recoupent les flancs ouest des anticlinaux (F.C.M.) ; leur pendage à l'est et leur cinématique indiquent une vergence identique à celle des plis. Plis et chevauchements sont probablement associés en un système de rampes/paliers. Certaines failles inverses localisées dans la structure anticlinale de la Chartreuse orientale (faille Scia, dans l'anticlinal de Perquelin), clairement plissées, témoignent d'une structuration en faille inverse (rampe) anté-plissement.

### Une tectonique tardive en décrochement

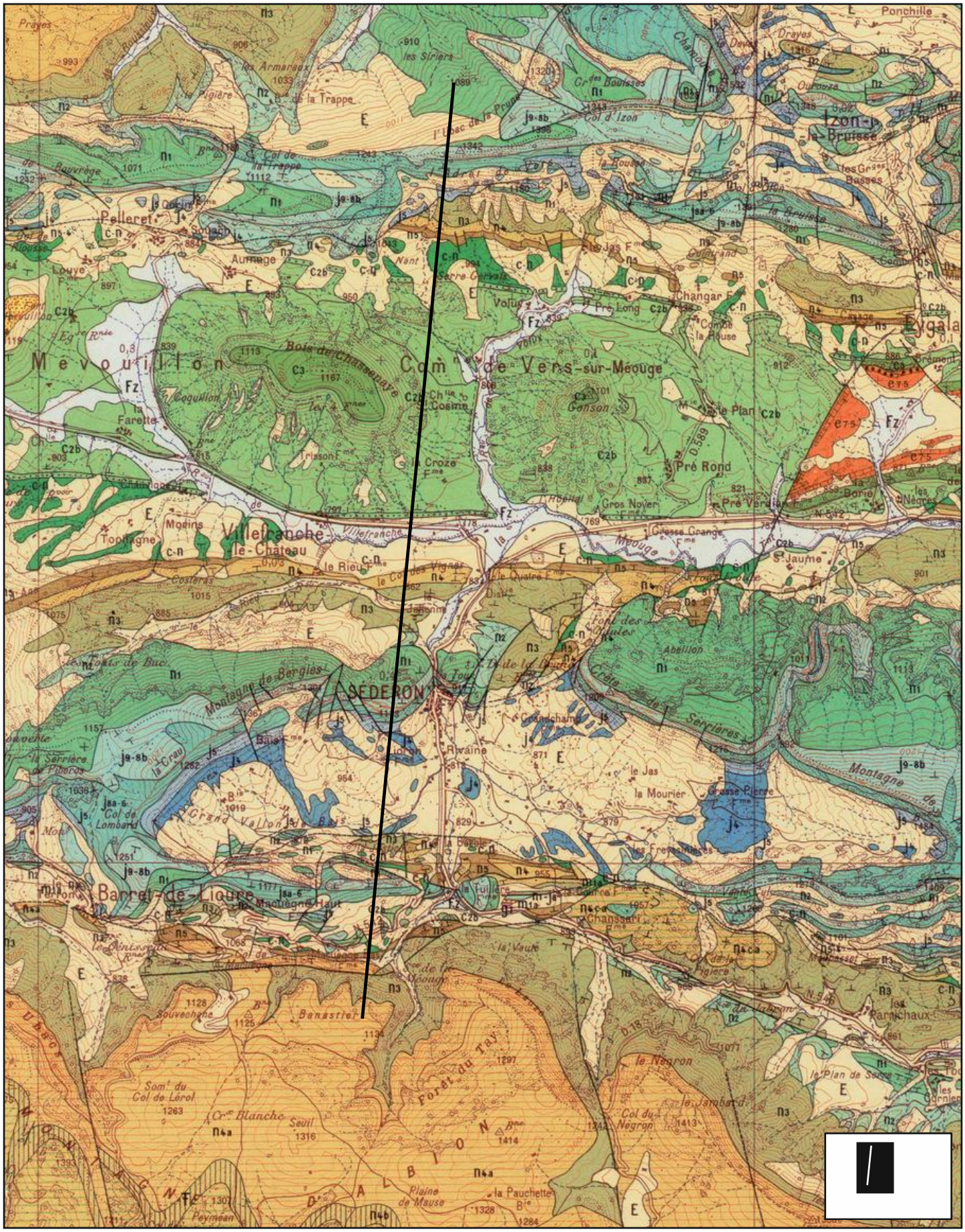
Des failles de direction NE-SW, verticales, localement complexes, comme l'accident de Bellefond, recoupent et décalent en jeu sénestre les plis (synclinal de la Dent de Crolles) et les chevauchements (F.C.M.). Ces décrochements sont postérieurs aux plis et aux chevauchements.

Dans cette coupe le tracé des structures en profondeur est délicat à préciser en raison des décrochements qui déplacent latéralement les divers panneaux régionaux. On peut imaginer une complication en rampe et palier dans les schistes du Callovien – Oxfordien, au cœur de l'anticlinal de Perquelin.

### Une morphologie régionale orientale et occidentale distincte

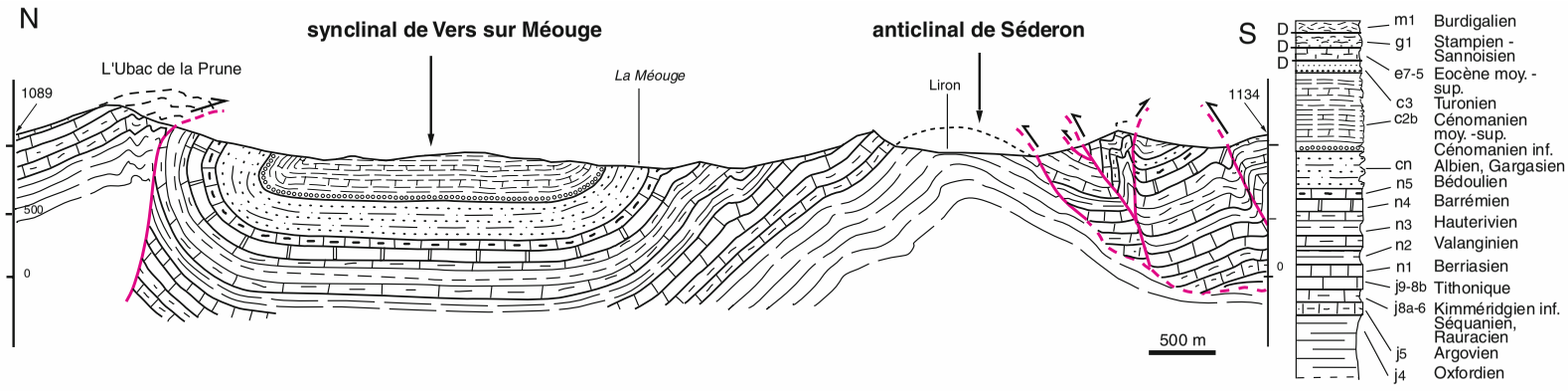
Morphologiquement les plis et les chevauchements occidentaux sont de type jurassien tandis qu'en Chartreuse orientale, plus élevée et plus érodée, les structures sont inversées (synclinal de Crolles).

L'âge des déformations ne peut être précisé à partir de l'extrait de carte ; la notice indique que le plissement s'initie modestement avant l'Eocène-Oligocène, puis s'amplifie avec chevauchements et décrochements après le Miocène (dépôts molassiques affectés non visibles sur l'extrait).


Mévouillon
Com. de Vers-sur-Méouge
Villefranche-le-Château
SÉDERON
Barret-de-Lioure
Izon-la-Bruisse
Eygala
Pelleret
Aurnage
Ponchille
Pré Rond
Pré Verdier
Gros Noyer
Grosse Grange
Méouge
Montagne de Bergies
Montagne de
Crête de Serrières
Forêt du Tay
Bois de Chassenaye
Col d'Izon
Col de la Trappe
Col du Negron
Col de Lérol
Pauchette
Pleine de Mause
Peymean
Banastier
Souvechene
Grand Vallon
Rivaine
Grandchamp
Grosse Pierre
Parrichaux
Plan de Sucre
Le Negron
Le Jas
Le Plan
Le Pré Long
Le Jas
Le Rieu
Le Quatre
Le Jas
Le Mourier
Le Jambard
Le Plan de Sucre
Les Frenes
Les Gras Basses
Les Armaneaux
Les Siriers
Les Boulsses
Les Boulsses
Les Boulsses

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.9 – Plis, plis-failles, écailles : feuille Séderon (916)

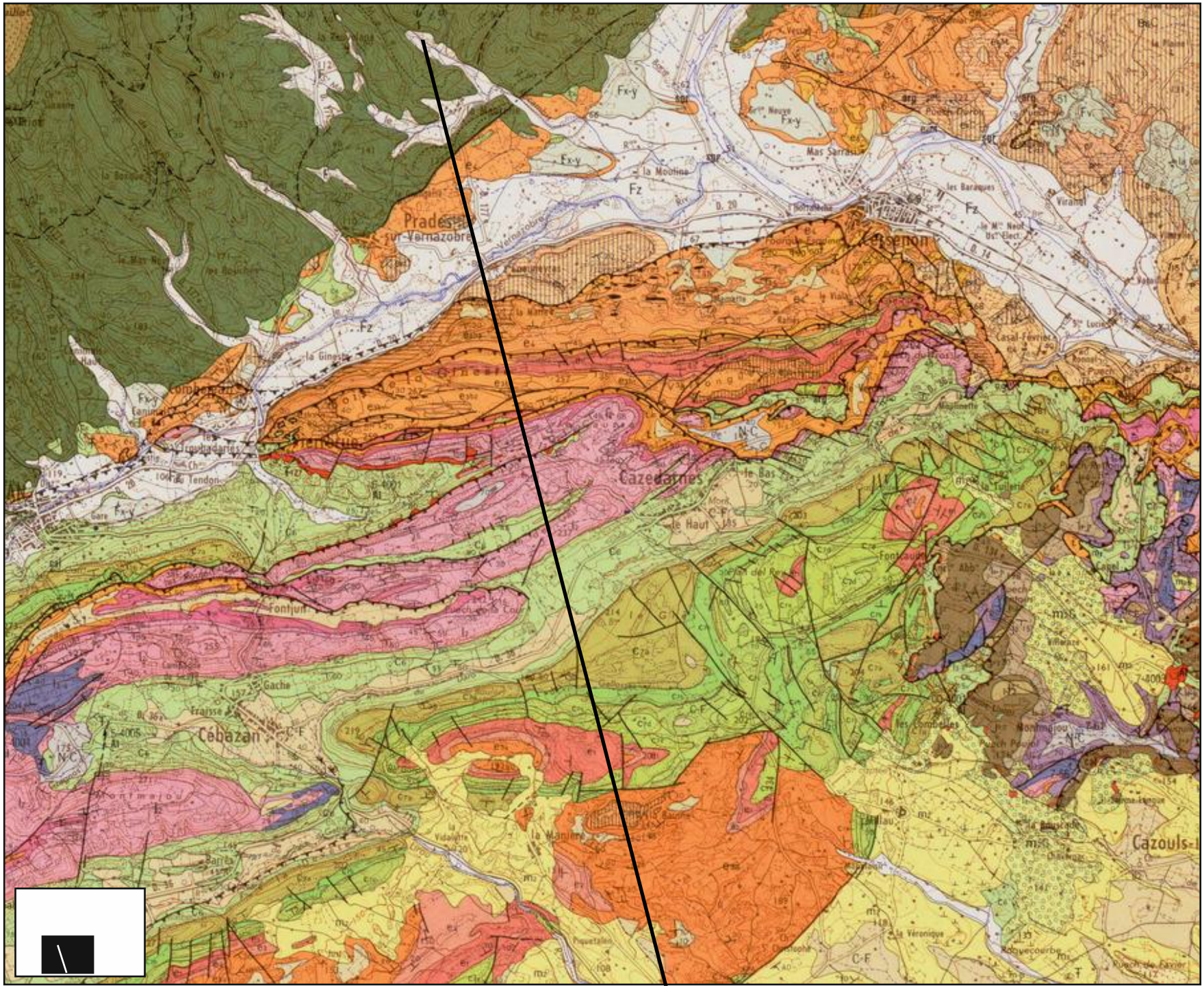
La carte de Séderon recouvre deux régions morphologiquement très différentes de la zone dauphinoise (partie centrale occidentale de la chaîne subalpine) : au Nord, les Baronnies, succession de chaînons et de dépressions E-W, et au Sud les reliefs de la Montagne de Lure – Mont Ventoux, lourd monoclinal régulier incliné vers le Sud. Ce contraste morphologique nord-sud est dû aux différences lithologiques associées à l'histoire paléogéographique du Crétacé de cette région. En effet, au Sud, la Montagne de Lure formée de presque 1 000 mètres de calcaires, représentait, au Crétacé inférieur, un talus bordant une plate-forme à sédimentation néritique située plus au Sud. Vers le Nord, ce talus passait à un bassin subsident profond avec des dépôts marneux (Bassin vocontien). Puis dans ce bassin nord se sont accumulées d'épaisses séries terrigènes (marnes bleues) pendant le milieu du Crétacé (Albien - Cénomanien).

### Des structures en plis singuliers et écailles associées

La structure générale de la région, marquée par l'orientation E-W des chaînons, est représentée par le chevauchement vers le Nord de la Montagne de Lure. Un ensemble complexe d'écailles souligne le front de chevauchement (extrémité sud de la coupe). Le secteur des Baronnies, au Nord, est formé d'une succession de plis d'axes E-W souvent érodés (anticlinal de Séderon), à cœur de Jurassique supérieur. Les synclinaux larges et à fond plat (synclinal de Vers sur Méouge) ont localement leurs flancs renversés. Des failles inverses à vergence sud, parallèles aux plis et déformées par eux, sont parfois associées aux plis. Des failles obliques par rapport aux axes des plis, dirigées NNW-SSE et NNE-SSW, probablement décrochantes, compliquent le dispositif structural général.

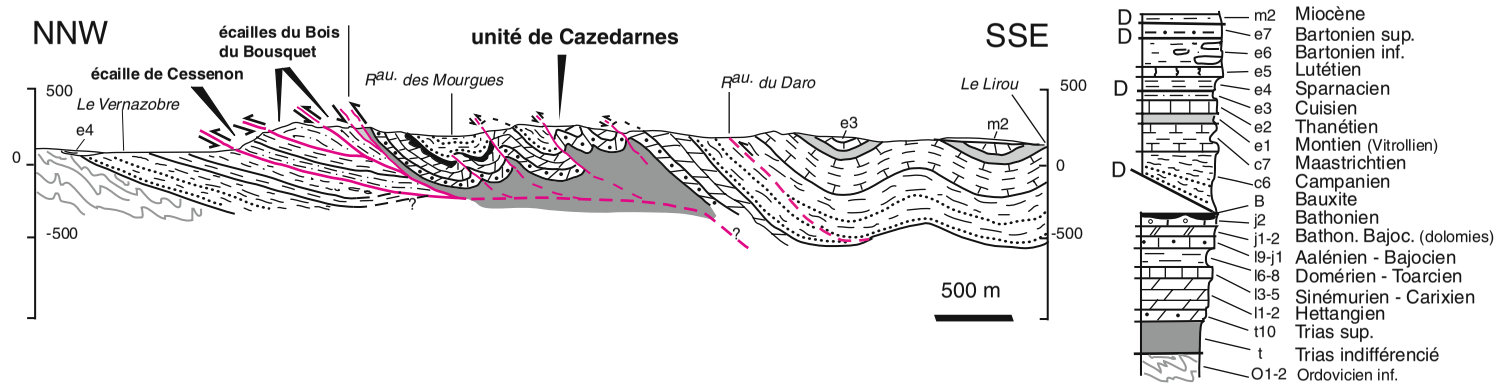
### Une tectonique en compression polyphasée et structures héritées

La tectonique compressive majeure des Baronnies s'est produite au cours du Tertiaire, entre l'Oligocène supérieur et le Miocène inférieur. Elle a été suivie à la fin du Miocène d'une nouvelle compression responsable du chevauchement de la Montagne de Lure. Des manifestations tectoniques précoces mineures se sont produites à l'Éocène. Il est probable que des failles à jeu inverse ou chevauchant soient d'anciennes failles normales actives lors de la formation du Bassin vocontien au Crétacé inférieur et qui ont été réactivées lors de la tectonique compressive au Tertiaire.


Prades-sur-Vernazobre
Vernazobre
Cazedarnes
Cébazan
Cazouls-
Fz
Fx-y
Fv
la Ginestre
la Moulina
Mas Sarrasin
Fontjun
Gache
Fraisse
Barrès
Vidaillac
la Manière
Piquetalles
la Véronique
Adouvecourbe
Mas Neuf
Ste Elect
les Baraques
Viramel
Casal-Fevrier
Magnanette
Fontcaude
Mont Haut
le Bas
la Tuilerie
les Combettes
Moulinjou
Villeare
Mas Neuve
Puech Pouron
Puech Pouch
Ch. de Tendon
Gare
Fx-y
N-C
C-F
m2
m3
m5
m6
m7
e4
e5
e6
e7
e8
e9
e10
e11
e12
e13
e14
e15
e16
e17
e18
e19
e20
e21
e22
e23
e24
e25
e26
e27
e28
e29
e30
e31
e32
e33
e34
e35
e36
e37
e38
e39
e40
e41
e42
e43
e44
e45
e46
e47
e48
e49
e50
e51
e52
e53
e54
e55
e56
e57
e58
e59
e60
e61
e62
e63
e64
e65
e66
e67
e68
e69
e70
e71
e72
e73
e74
e75
e76
e77
e78
e79
e80
e81
e82
e83
e84
e85
e86
e87
e88
e89
e90
e91
e92
e93
e94
e95
e96
e97
e98
e99
e100
e101
e102
e103
e104
e105
e106
e107
e108
e109
e110
e111
e112
e113
e114
e115
e116
e117
e118
e119
e120
e121
e122
e123
e124
e125
e126
e127
e128
e129
e130
e131
e132
e133
e134
e135
e136
e137
e138
e139
e140
e141
e142
e143
e144
e145
e146
e147
e148
e149
e150
e151
e152
e153
e154
e155
e156
e157
e158
e159
e160
e161
e162
e163
e164
e165
e166
e167
e168
e169
e170
e171
e172
e173
e174
e175
e176
e177
e178
e179
e180
e181
e182
e183
e184
e185
e186
e187
e188
e189
e190
e191
e192
e193
e194
e195
e196
e197
e198
e199
e200
e201
e202
e203
e204
e205
e206
e207
e208
e209
e210
e211
e212
e213
e214
e215
e216
e217
e218
e219
e220
e221
e222
e223
e224
e225
e226
e227
e228
e229
e230
e231
e232
e233
e234
e235
e236
e237
e238
e239
e240
e241
e242
e243
e244
e245
e246
e247
e248
e249
e250
e251
e252
e253
e254
e255
e256
e257
e258
e259
e260
e261
e262
e263
e264
e265
e266
e267
e268
e269
e270
e271
e272
e273
e274
e275
e276
e277
e278
e279
e280
e281
e282
e283
e284
e285
e286
e287
e288
e289
e290
e291
e292
e293
e294
e295
e296
e297
e298
e299
e300
e301
e302
e303
e304
e305
e306
e307
e308
e309
e310
e311
e312
e313
e314
e315
e316
e317
e318
e319
e320
e321
e322
e323
e324
e325
e326
e327
e328
e329
e330
e331
e332
e333
e334
e335
e336
e337
e338
e339
e340
e341
e342
e343
e344
e345
e346
e347
e348
e349
e350
e351
e352
e353
e354
e355
e356
e357
e358
e359
e360
e361
e362
e363
e364
e365
e366
e367
e368
e369
e370
e371
e372
e373
e374
e375
e376
e377
e378
e379
e380
e381
e382
e383
e384
e385
e386
e387
e388
e389
e390
e391
e392
e393
e394
e395
e396
e397
e398
e399
e400
e401
e402
e403
e404
e405
e406
e407
e408
e409
e410
e411
e412
e413
e414
e415
e416
e417
e418
e419
e420
e421
e422
e423
e424
e425
e426
e427
e428
e429
e430
e431
e432
e433
e434
e435
e436
e437
e438
e439
e440
e441
e442
e443
e444
e445
e446
e447
e448
e449
e450
e451
e452
e453
e454
e455
e456
e457
e458
e459
e460
e461
e462
e463
e464
e465
e466
e467
e468
e469
e470
e471
e472
e473
e474
e475
e476
e477
e478
e479
e480
e481
e482
e483
e484
e485
e486
e487
e488
e489
e490
e491
e492
e493
e494
e495
e496
e497
e498
e499
e500
e501
e502
e503
e504
e505
e506
e507
e508
e509
e510
e511
e512
e513
e514
e515
e516
e517
e518
e519
e520
e521
e522
e523
e524
e525
e526
e527
e528
e529
e530
e531
e532
e533
e534
e535
e536
e537
e538
e539
e540
e541
e542
e543
e544
e545
e546
e547
e548
e549
e550
e551
e552
e553
e554
e555
e556
e557
e558
e559
e560
e561
e562
e563
e564
e565
e566
e567
e568
e569
e570
e571
e572
e573
e574
e575
e576
e577
e578
e579
e580
e581
e582
e583
e584
e585
e586
e587
e588
e589
e590
e591
e592
e593
e594
e595
e596
e597
e598
e599
e600
e601
e602
e603
e604
e605
e606
e607
e608
e609
e610
e611
e612
e613
e614
e615
e616
e617
e618
e619
e620
e621
e622
e623
e624
e625
e626
e627
e628
e629
e630
e631
e632
e633
e634
e635
e636
e637
e638
e639
e640
e641
e642
e643
e644
e645
e646
e647
e648
e649
e650
e651
e652
e653
e654
e655
e656
e657
e658
e659
e660
e661
e662
e663
e664
e665
e666
e667
e668
e669
e670
e671
e672
e673
e674
e675
e676
e677
e678
e679
e680
e681
e682
e683
e684
e685
e686
e687
e688
e689
e690
e691
e692
e693
e694
e695
e696
e697
e698
e699
e700
e701
e702
e703
e704
e705
e706
e707
e708
e709
e710
e711
e712
e713
e714
e715
e716
e717
e718
e719
e720
e721
e722
e723
e724
e725
e726
e727
e728
e729
e730
e731
e732
e733
e734
e735
e736
e737
e738
e739
e740
e741
e742
e743
e744
e745
e746
e747
e748
e749
e750
e751
e752
e753
e754
e755
e756
e757
e758
e759
e760
e761
e762
e763
e764
e765
e766
e767
e768
e769
e770
e771
e772
e773
e774
e775
e776
e777
e778
e779
e780
e781
e782
e783
e784
e785
e786
e787
e788
e789
e790
e791
e792
e793
e794
e795
e796
e797
e798
e799
e800
e801
e802
e803
e804
e805
e806
e807
e808
e809
e810
e811
e812
e813
e814
e815
e816
e817
e818
e819
e820
e821
e822
e823
e824
e825
e826
e827
e828
e829
e830
e831
e832
e833
e834
e835
e836
e837
e838
e839
e840
e841
e842
e843
e844
e845
e846
e847
e848
e849
e850
e851
e852
e853
e854
e855
e856
e857
e858
e859
e860
e861
e862
e863
e864
e865
e866
e867
e868
e869
e870
e871
e872
e873
e874
e875
e876
e877
e878
e879
e880
e881
e882
e883
e884
e885
e886
e887
e888
e889
e890
e891
e892
e893
e894
e895
e896
e897
e898
e899
e900
e901
e902
e903
e904
e905
e906
e907
e908
e909
e910
e911
e912
e913
e914
e915
e916
e917
e918
e919
e920
e921
e922
e923
e924
e925
e926
e927
e928
e929
e930
e931
e932
e933
e934
e935
e936
e937
e938
e939
e940
e941
e942
e943
e944
e945
e946
e947
e948
e949
e950
e951
e952
e953
e954
e955
e956
e957
e958
e959
e960
e961
e962
e963
e964
e965
e966
e967
e968
e969
e970
e971
e972
e973
e974
e975
e976
e977
e978
e979
e980
e981
e982
e983
e984
e985
e986
e987
e988
e989
e990
e991
e992
e993
e994
e995
e996
e997
e998
e999
e1000

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.10 – Tectonique d'écailles et de décollement : feuille Saint-Chinian (1014)

Sur le bord sud des terrains paléozoïques (O1-2, Ordovicien inférieur) du versant sud de la Montagne Noire, les séries secondaires et tertiaires du Languedoc sont déformées en écailles superficielles à vergence vers le Nord. Elles ont été formées par la tectonique compressive pyrénéenne et leur forme arquée fait qu'on les nomme arc de Saint-Chinian.

### Les écailles septentrionales

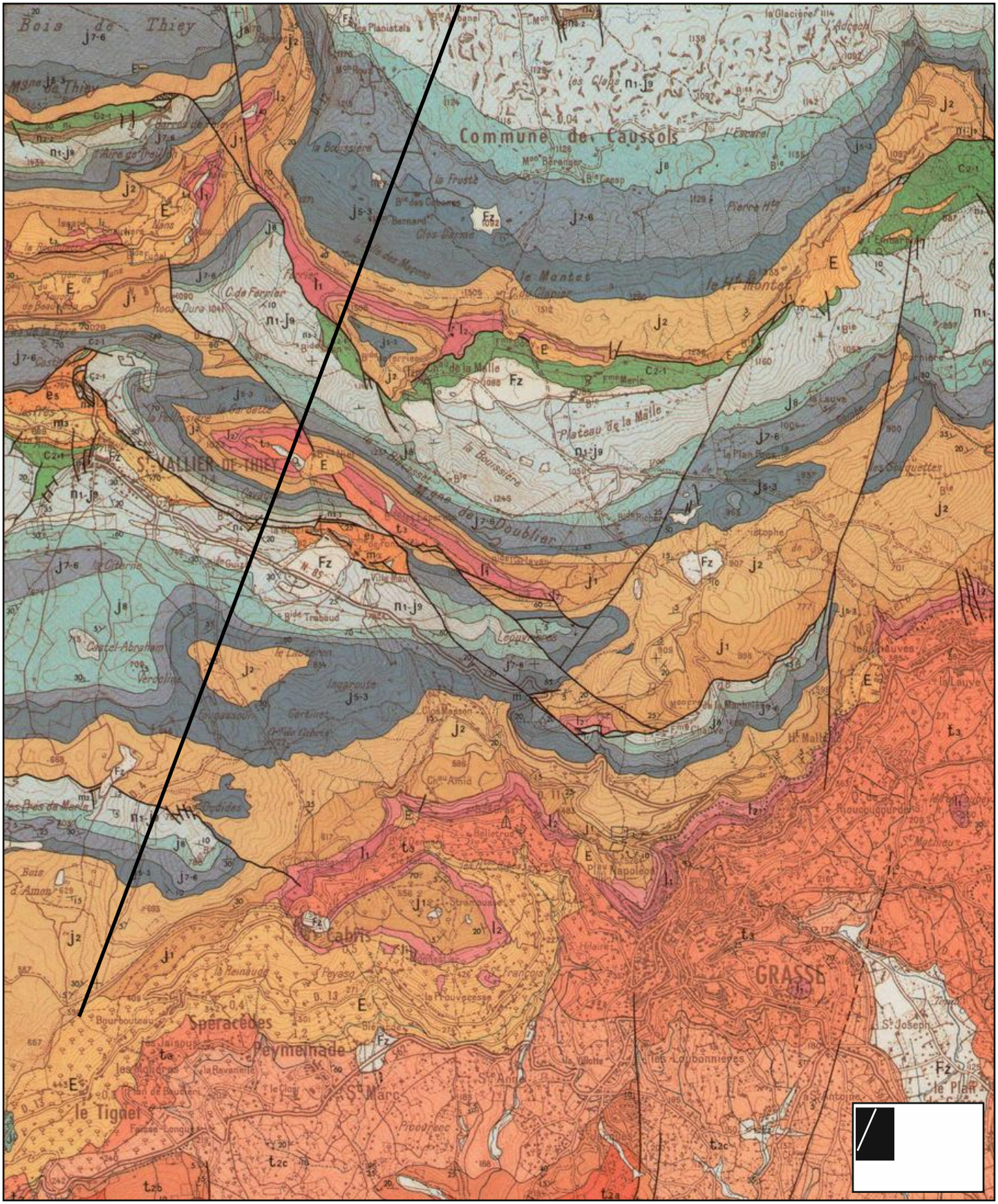
Les écailles du Nord, écailles de Cessenon et du Bois du Bousquet, sont formées uniquement de terrains d'âge crétacé supérieur et tertiaire inférieur. Elles chevauchent un autochtone éocène, dont les épais niveaux d'âge bartonien inférieur riches en olistolithes, blocs d'écroulement au front des écailles qui avancent, permettent de dater la mise en place. Ces dépôts syntectoniques se sont étalés devant le front chevauchant des écailles et ont été chevauchés par la suite.

### Les écailles méridionales

Les écailles du sud (unité de Cazedarnes, de Cazouls), structuralement plus élevées, sont formées de matériel mésozoïque (Trias supérieur, Lias, Crétacé supérieur) et tertiaire inférieur. Leur base est une semelle de Trias plastique (évaporites, argiles) formant niveau de décollement. Des bauxites d'âge crétacé moyen (à toit de c6) témoignent d'une période d'émersion, d'érosion et d'altération connue ailleurs dans le Sud de la France (Isthme durancien) (planche 9.15).

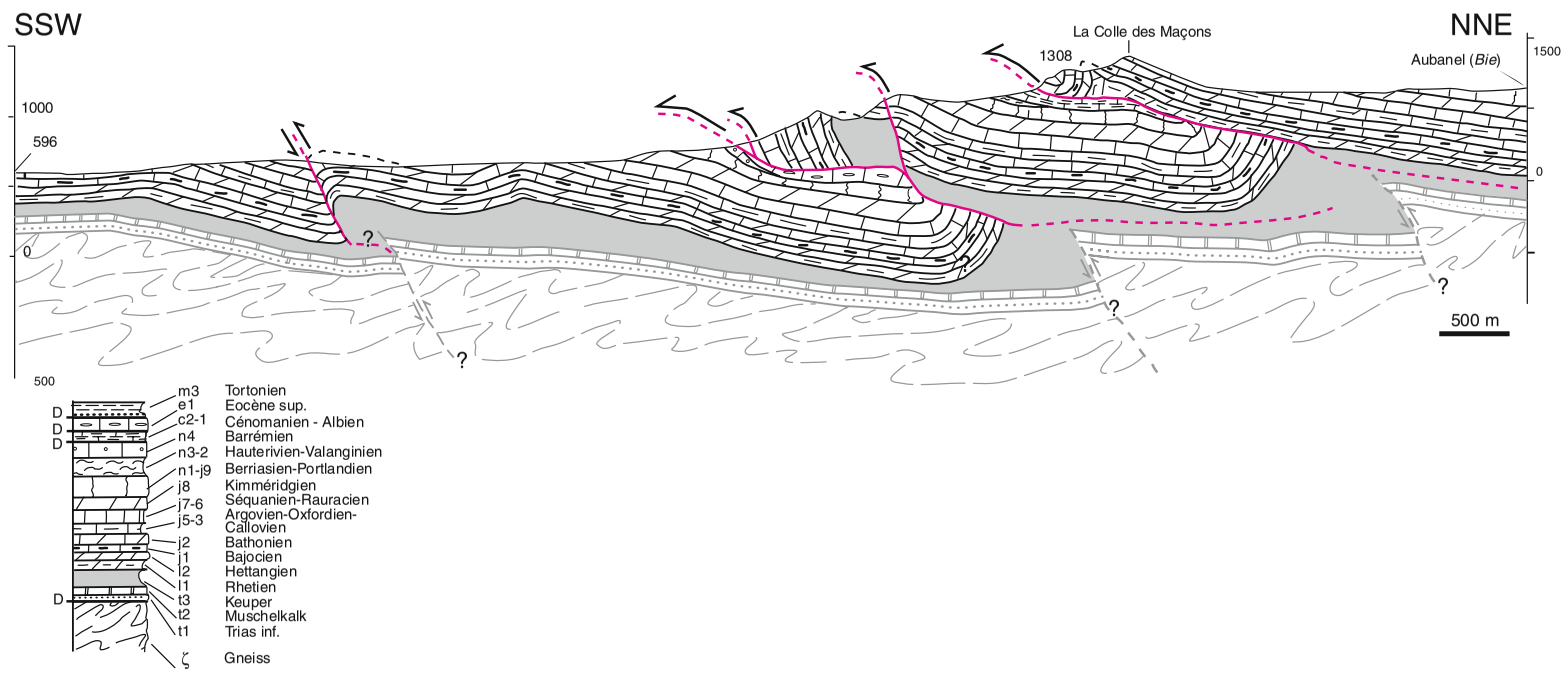
Contrairement aux écailles du Nord sans Trias plastique à leur base qui sont faiblement déplacées, les écailles du sud à semelle de Trias ont une allochtonie de plusieurs kilomètres vers le Nord. L'amortissement rapide de la tectonique tangentielle est dû à la variation lithologique rapide des séries sédimentaires affectées, notamment l'absence de niveaux de décollement au Nord.

Le Miocène moyen (m2), transgressif, discordant et non déformé cachète les derniers mouvements tectoniques de la région.


Bois de Thiey
Commune de Caussols
le Montet
le Ht Montet
Plateau de la Malle
St VALLIER DE THIEY
Mgne de Doublier
Cabris
Spéracèdes
Peymeinade
le Tignet
GRASSE
St Joseph
le Plan

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.11 – Chevauchements, rampes et plats, décollements : feuille Grasse-Cannes (999)

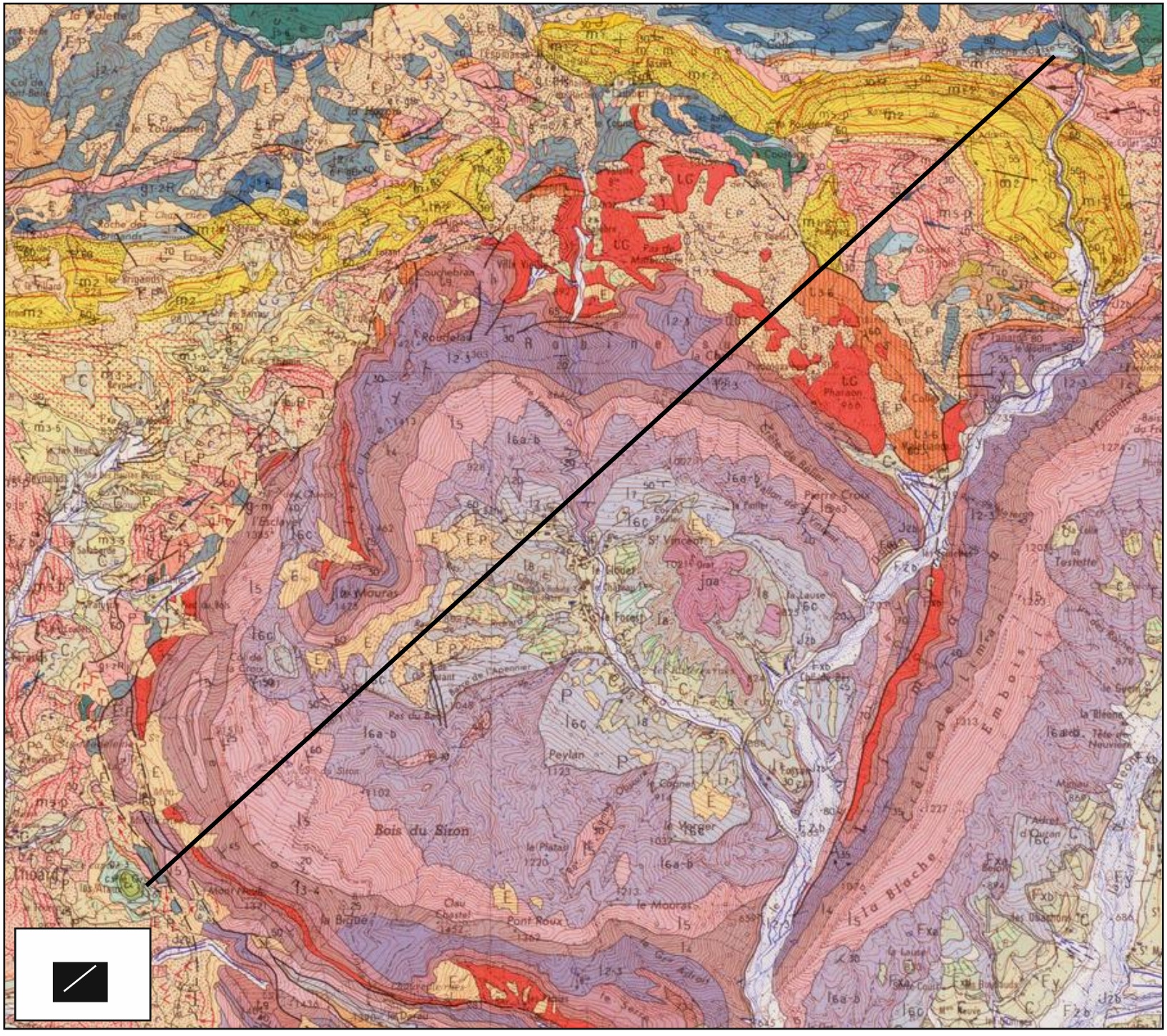
Les structures tectoniques de cet extrait de carte appartiennent à l'extrémité orientale de l'arc de Castellane, partie sud des Alpes occidentales françaises. Il s'agit d'un système de plis et de chevauchements à vergence sud, affectant la série sédimentaire secondaire et tertiaire provençale.

### Des structures compressives sur un décollement

Les structures sont de type chevauchement en rampes et paliers (association de failles chevauchantes et de plis anticlinaux et synclinaux), imbriquées. Le Trias supérieur (Keuper) (t3), gypseux, a servi de niveau de décollement à l'ensemble de la série secondaire et tertiaire. La déformation s'amortit vers le Sud. Le socle, formé de terrains paléozoïques métamorphiques (gneiss du Tanneron), est recouvert en discordance par le Trias inférieur (grès, t1) et moyen (calcaires, t2). Ces deux niveaux sont généralement adhérents et solidaires du socle dont ils forment le tégument. Le Trias calcaire peut localement être engagé dans la tectonique de décollement, mais les structures attribuables à ce phénomène ne sont pas observables sur la carte. Le tracé de la partie inférieure de la coupe (sous le niveau de décollement du Trias supérieur) a été dessiné en grisé pour montrer le caractère très interprété de cette partie de la coupe. Ainsi, des accidents de type faille inverse ont été placés dans le socle pour exprimer le raccourcissement possible de celui-ci.

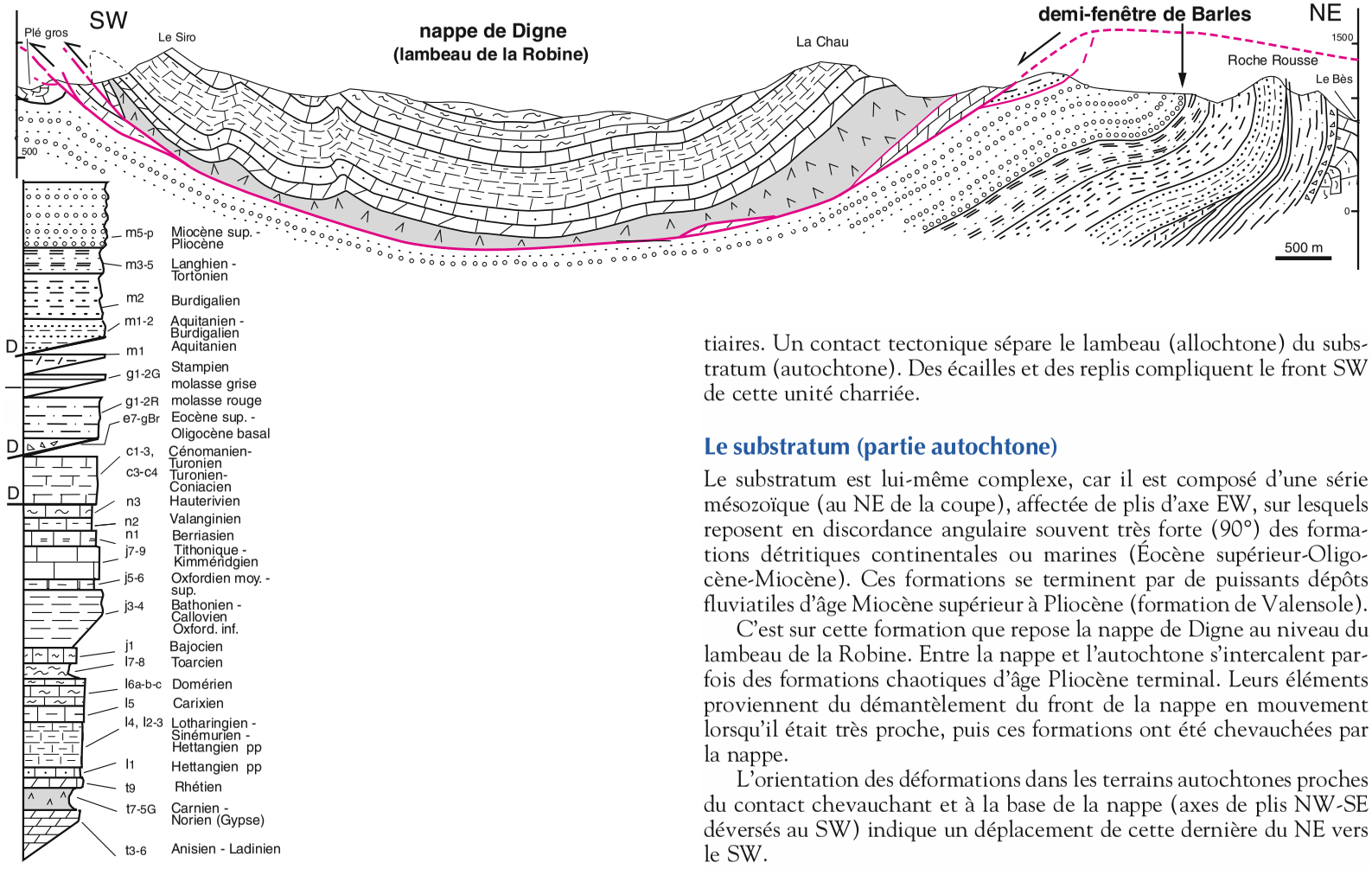
### Le résultat d'une tectonique polyphasée

Cette architecture complexe dans le détail résulte d'une histoire polyphasée marquée par des lacunes, des discordances (du Lutétien supérieur, de l'Oligocène, du Burdigalien, du Tortonien). Ce dernier, coincé sous le plus haut chevauchement de la coupe, date la structuration majeure compressive de la région dans la fin du Miocène supérieur.


Bois du Siron
Peylan
Pont Roux
le Moorat
la Bigue
Clau Chastel
St Vincent
le Foscet
la Lause
Pierre Croix
Roudelas
Villa
la Bleona
Tête de Neuvieux
Tête de l'Embois
la Blache
Tête de Balme
Tête de l'Ermana
Bréon
Teshette
Pas du Bœuf
Col de la Croix
Col de Peyler
Col de Bayard
Col de Saint Bellin
Col de la Valette
le Touvenet
la Valette
Roche de Brigands
le Villard
les Brigands
Les Neves
Les Reynaud
Les Bayles
Les Chaux
l'Esclavet
Les Mouras
Les Ayrals
Les Ayrals
Les Ayrals

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.12 – Nappe : feuille La Javie (918)

Le lambeau de la Robine, partie avancée au front de la nappe de Digne, est un exemple typique de structure chevauchante au cœur de la chaîne subalpine centrale.

### La nappe (partie allochtone)

Le lambeau de la Robine, formé de terrains secondaires (Trias et Lias), de forme synclinale simple, repose anormalement sur des terrains tertiaires. Un contact tectonique sépare le lambeau (allochtone) du substratum (autochtone). Des écailles et des replis compliquent le front SW de cette unité charriée.

### Le substratum (partie autochtone)

Le substratum est lui-même complexe, car il est composé d'une série mésozoïque (au NE de la coupe), affectée de plis d'axe EW, sur lesquels reposent en discordance angulaire souvent très forte (90°) des formations détritiques continentales ou marines (Éocène supérieur-Oligocène-Miocène). Ces formations se terminent par de puissants dépôts fluviatiles d'âge Miocène supérieur à Pliocène (formation de Valensole).

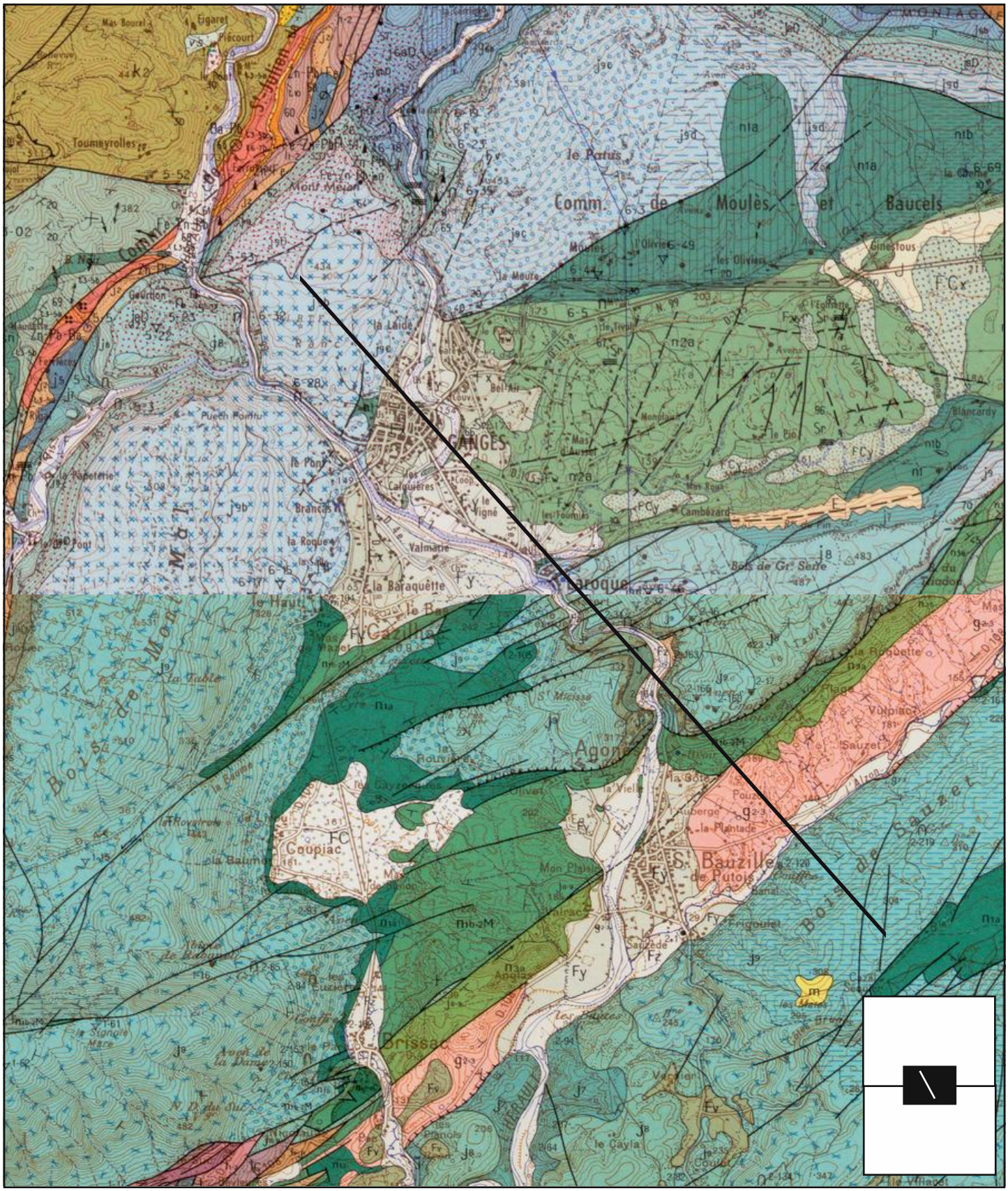
C'est sur cette formation que repose la nappe de Digne au niveau du lambeau de la Robine. Entre la nappe et l'autochtone s'intercalent parfois des formations chaotiques d'âge Pliocène terminal. Leurs éléments proviennent du démantèlement du front de la nappe en mouvement lorsqu'il était très proche, puis ces formations ont été chevauchées par la nappe.

L'orientation des déformations dans les terrains autochtones proches du contact chevauchant et à la base de la nappe (axes de plis NW-SE déversés au SW) indique un déplacement de cette dernière du NE vers le SW.

### Modalité de mise en place de la nappe

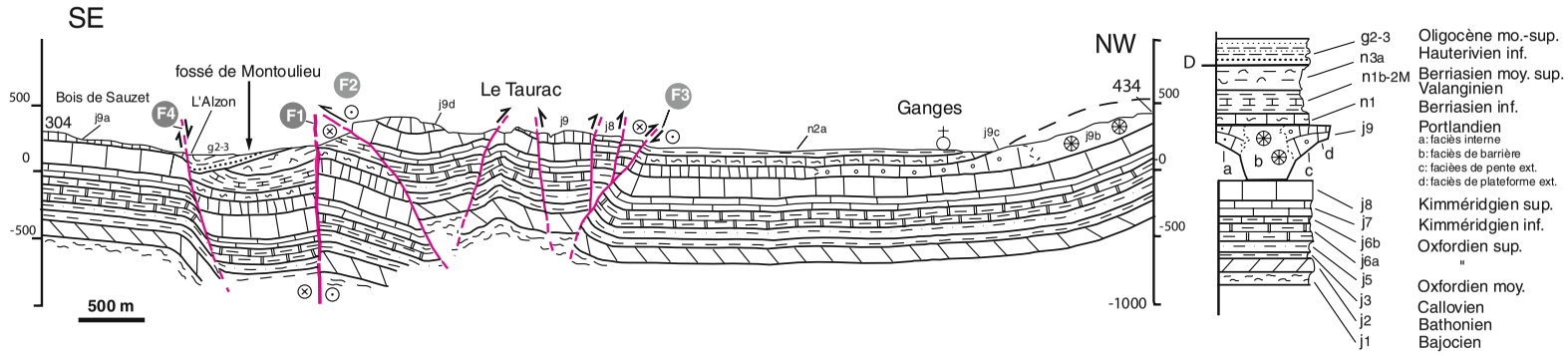
Les études de terrain montrent que la nappe s'est avancée sur une surface irrégulière et à l'air libre (tectonique épiglyptique). Son chevauchement a été facilité par un épais coussin de gypses du Trias (t7-5G) qui jalonne son contact de base.

L'érosion postérieure à la mise en place de la nappe a préservé le lambeau de la Robine, probablement en raison de sa structure en cuvette synclinale, tandis que plus au Nord elle a évidé la demi-fenêtre de Barles dans un bombement de la nappe.


Mas Bourel
Figaret
Précourt
Toumayrolles
St Julien
Comm. de Moulès et Baucels
le Patus
Moulès
la Meute
l'Olivier
les Olivies
Ginestous
Geurtion
la Laide
Puech Pontu
la Papeterie
le Pont
Brancas
la Roque
Calquières
le Vigné
GANGES
Mas d'Auriol
Bel Air
Mondiès
le Bio
Cambézard
Blancardy
Valmale
la Baraquette
Bois de Gr. Serre
Le Haut
Gazille
la Table
Agonès
la Rouvière
Cayroques
la Baume
Coupiac
Mon Plaisir
Brissac
Anglas
Pranols
le Cayla
Vacquier
Frigoulet
Sauzède
Bauzille de Putois
la Plantade
la Côte
la Vielle
Pouzet
Sauzet
Volpiac
la Roquette
Bois de Sauzet
Bois de Mont Ma
Comm. de Mont Ma
HERAULT

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.13 – Failles décrochantes : feuilles Saint-Martin-de-Londres et Le Vigan (937 & 963)

Une zone de failles de direction NE-SW affecte les terrains mésozoïques et cénozoïques de la région ; une déformation importante s'y localise sur quelques centaines de mètres à quelques kilomètres de large : c'est **la zone de faille des Cévennes**. Longue de plus de 200 km de la vallée du Rhône à la Montagne Noire, elle sépare le Massif Central au NW du Languedoc au SE.

### Une association de plusieurs failles

La zone de faille des Cévennes comprend une faille majeure (faille F1 : direction NE-SW, verticale) et des failles secondaires (faille F2 et F3 : direction N60° à N80°, pendage SE ou NW. Ces dernières délimitent la structure du Taurac dont la géométrie est celle d'un horst compressif de direction oblique sur la direction générale de la zone de faille des Cévennes.

### Une origine ancienne et une histoire en plusieurs étapes

Formées à la fin du Paléozoïque (tectonique tardihercynienne), ces failles ont poursuivi leur activité au cours du Permien et du Jurassique (jeux en failles normales). Puis elles ont été fortement réactivées lors de la tectonique pyrénéenne compressive N-S au début du Tertiaire (Éocène - Oligocène inférieur), où elles ont fonctionné en failles décrochantes sénestres (faille F1) ou en failles sénestres-inverses (failles F2 et F3). Le décalage horizontal des différents faciès d'un ancien système récifal du Portlandien (j9ac par exemple), orienté sensiblement N-S, par ces failles, permet d'estimer à 15 kilomètres le déplacement horizontal sénestre sur la zone de faille des Cévennes, lors de la compression pyrénéenne.

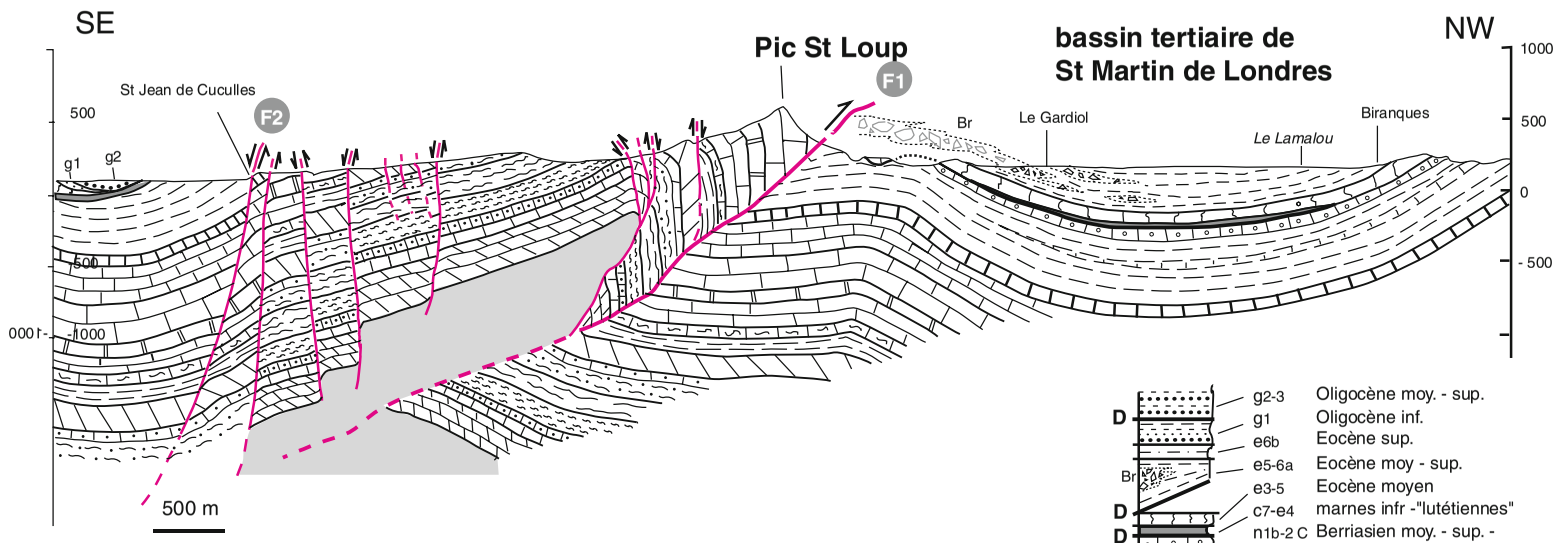
Au cours de l'Oligocène moyen et supérieur, la région fut soumise à une extension approximativement NW-SE, qui a réactivé certaines failles en failles normales (F4). Des demi-grabens remplis de dépôts détritiques continentaux franchement discordants sur les formations plus anciennes se sont alors formés au toit de ces accidents.

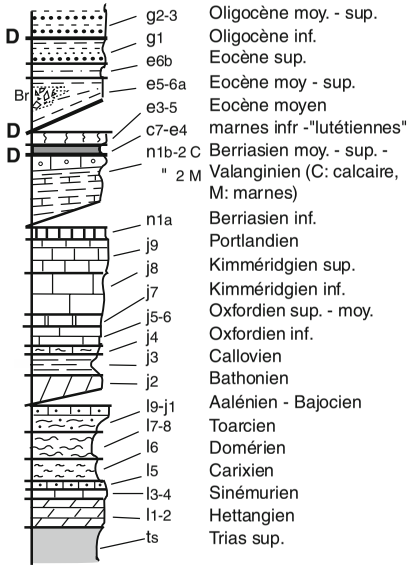
*Nota* : Certaines couleurs et limites géologiques ne sont pas identiques entre les deux cartes d'où l'extrait de carte a été réalisé. Les cartes géologiques d'éditions anciennes n'ont pas toujours été homogénéisées (tant au niveau des couleurs que des limites) comme elles le sont aujourd'hui. Ceci entraîne quelques difficultés pour la lecture du document que le lecteur voudra bien excuser.

Bois de la Baume
Notre-Dame de Londres
Bois du Rouet
Bois du Pâtus
St-Martin-de-Londres
Mas-de-Londres
Mas d'Alègre
Mas de Garonne
Mas Noir
Aérodrome de St-Martin-de-Londres
Les Courèges
Sec Capteo
la Francinède
Birandres
Gaonac
Masclas
Lagarde
Bois de la Garde
Bois de l'Olivier
Cambous
Viols-en-Laval
Pouzaraque
Pouzaraque
Cazevieille
Les Courtes
Les Camps
Les Pauras
Mas Rigaud
Mas Vieux
Mas Neuf
Vallat d'Espinas
Bois de l'Abric
Aven Tidal
Plaine
Le Relais des Chênes
Suques
Fy
E
Ja
Jb
Jc
Jd
Je
Jf
Jg
Jh
Ji
Jj
Jk
Jl
Jm
Jn
Jo
Jp
Jq
Jr
Js
Jt
Ju
Jv
Jw
Jx
Jy
Jz
Ka
Kb
Kc
Kd
Ke
Kf
Kg
Kh
Ki
Kj
Kk
Kl
Km
Kn
Ko
Kp
Kq
Kr
Ks
Kt
Ku
Kv
Kw
Kx
Ky
Kz
La
Lb
Lc
Ld
Le
Lf
Lg
Lh
Li
Lj
Lk
Ll
Lm
Ln
Lo
Lp
Lq
Lr
Ls
Lt
Lu
Lv
Lw
Lx
Ly
Lz
Ma
Mb
Mc
Md
Me
Mf
Mg
Mh
Mi
Mj
Mk
Ml
Mm
Mn
Mo
Mp
Mq
Mr
Ms
Mt
Mu
Mv
Mw
Mx
My
Mz
Na
Nb
Nc
Nd
Ne
Nf
Ng
Nh
Ni
Nj
Nk
Nl
Nm
Nn
No
Np
Nq
Nr
Ns
Nt
Nu
Nv
Nw
Nx
Ny
Nz
Oa
Ob
Oc
Od
Oe
Of
Og
Oh
Oi
Oj
Ok
Ol
Om
On
Oo
Op
Oq
Or
Os
Ot
Ou
Ov
Ow
Ox
Oy
Oz
Pa
Pb
Pc
Pd
Pe
Pf
Pg
Ph
Pi
Pj
Pk
Pl
Pm
Pn
Po
Pp
Pq
Pr
Ps
Pt
Pu
Pv
Pw
Px
Py
Pz
Qa
Qb
Qc
Qd
Qe
Qf
Qg
Qh
Qi
Qj
Qk
Ql
Qm
Qn
Qo
Qp
Qq
Qr
Qs
Qt
Qu
Qv
Qw
Qx
Qy
Qz
Ra
Rb
Rc
Rd
Re
Rf
Rg
Rh
Ri
Rj
Rk
Rl
Rm
Rn
Ro
Rp
Rq
Rr
Rs
Rt
Ru
Rv
Rw
Rx
Ry
Rz
Sa
Sb
Sc
Sd
Se
Sf
Sg
Sh
Si
Sj
Sk
Sl
Sm
Sn
So
Sp
Sq
Sr
Ss
St
Su
Sv
Sw
Sx
Sy
Sz
Ta
Tb
Tc
Td
Te
Tf
Tg
Th
Ti
Tj
Tk
Tl
Tm
Tn
To
Tp
Tq
Tr
Ts
Tt
Tu
Tv
Tw
Tx
Ty
Tz
Ua
Ub
Uc
Ud
Ue
Uf
Ug
Uh
Ui
Uj
Uk
Ul
Um
Un
Uo
Up
Uq
Ur
Us
Ut
Uu
Uv
Uw
Ux
Uy
Uz
Va
Vb
Vc
Vd
Ve
Vf
Vg
Vh
Vi
Vj
Vk
Vl
Vm
Vn
Vo
Vp
Vq
Vr
Vs
Vt
Vu
Vv
Vw
Vx
Vy
Vz
Wa
Wb
Wc
Wd
We
Wf
Wg
Wh
Wi
Wj
Wk
Wl
Wm
Wn
Wo
Wp
Wq
Wr
Ws
Wt
Wu
Wv
Ww
Wx
Wy
Wz
Xa
Xb
Xc
Xd
Xe
Xf
Xg
Xh
Xi
Xj
Xk
Xl
Xm
Xn
Xo
Xp
Xq
Xr
Xs
Xt
Xu
Xv
Xw
Xx
Xy
Xz
Ya
Yb
Yc
Yd
Ye
Yf
Yg
Yh
Yi
Yj
Yk
Yl
Ym
Yn
Yo
Yp
Yq
Yr
Ys
Yt
Yu
Yv
Yw
Yx
Yy
Yz
Za
Zb
Zc
Zd
Ze
Zf
Zg
Zh
Zi
Zj
Zk
Zl
Zm
Zn
Zo
Zp
Zq
Zr
Zs
Zt
Zu
Zv
Zw
Zx
Zy
Zz

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.14 – Pli et faille inverse : feuille Saint-Martin-de-Londres (963)

### Un grand pli asymétrique faillé

La structure du Pic Saint Loup, en pays languedocien, est un exemple spectaculaire de localisation de la déformation en compression. Il s'agit d'un pli anticlinal asymétrique dont le flanc nord est vertical et le flanc sud faiblement incliné vers le Sud. Une faille inverse majeure (F1) de direction E-W et pendage 45 à 50° au Sud, fait chevaucher légèrement l'anticlinal sur le petit bassin de Saint-Martin-de-Londres rempli de dépôts tertiaires.

### Une sédimentation syntectonique au front du pli

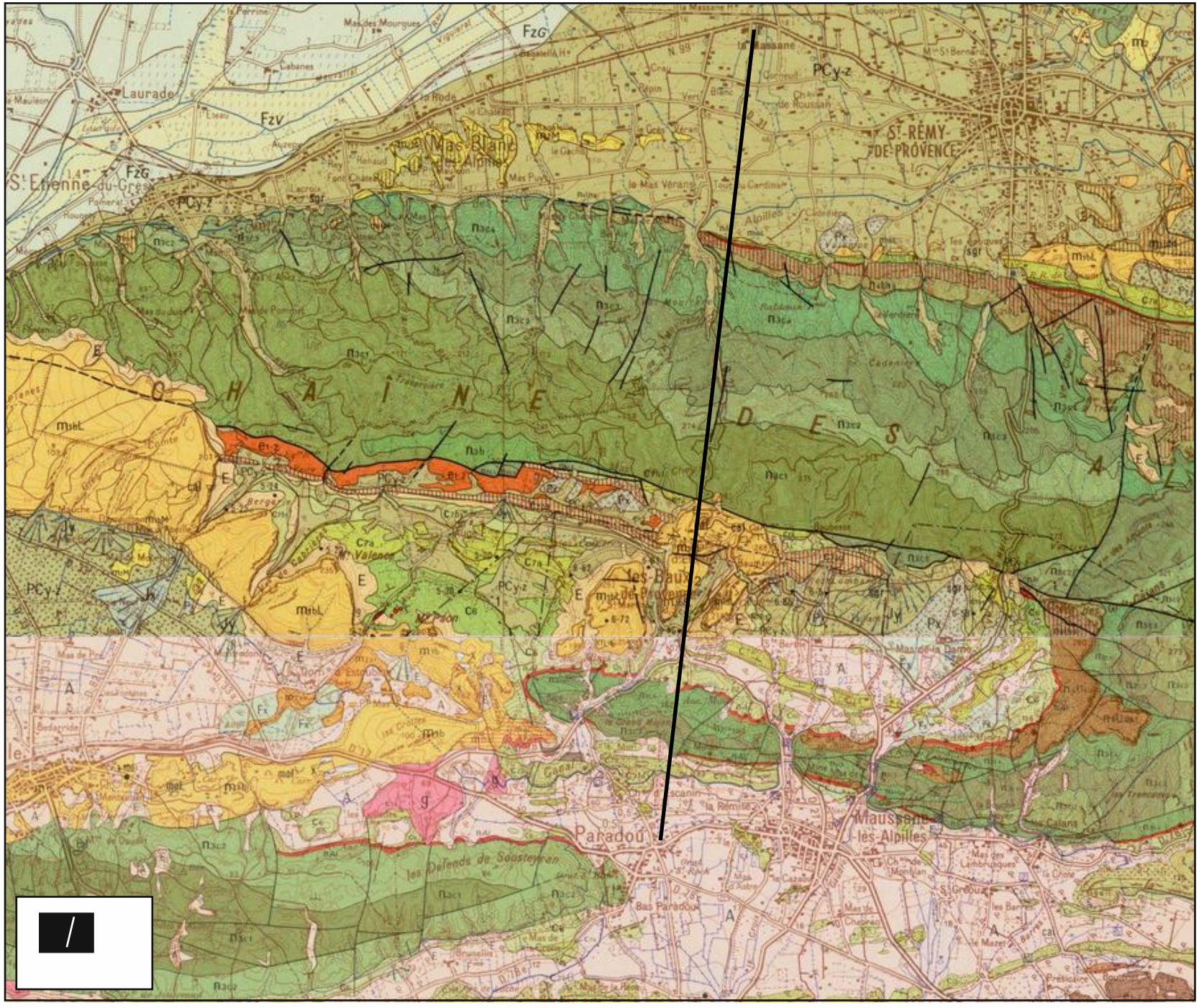
Des brèches d'âge éocène moyen-supérieur, à éléments grossiers et anguleux, sont développées au pied du flanc chevauchant du pli ; elles se sont déposées lors de sa formation (dépôts syntectoniques). Elles deviennent moins épaisses et les éléments moins gros vers le Nord du bassin (variation latérale de faciès). Elles marquent le paroxysme de la tectonique en compression (phase pyrénéenne). Des mouvements compressifs précoces (ante Crétacé supérieur - Éocène moyen), plus modestes, sont soulignés par une faible discordance angulaire et cartographique (D) et par une importante lacune (érosion et/ou absence de dépôts).

Vers l'Ouest, la structure anticlinale du Pic Saint Loup s'amortit et l'accident frontal (F1) se complique en une série d'écailles imbriquées poussées vers le Nord.

### Interprétation du pli

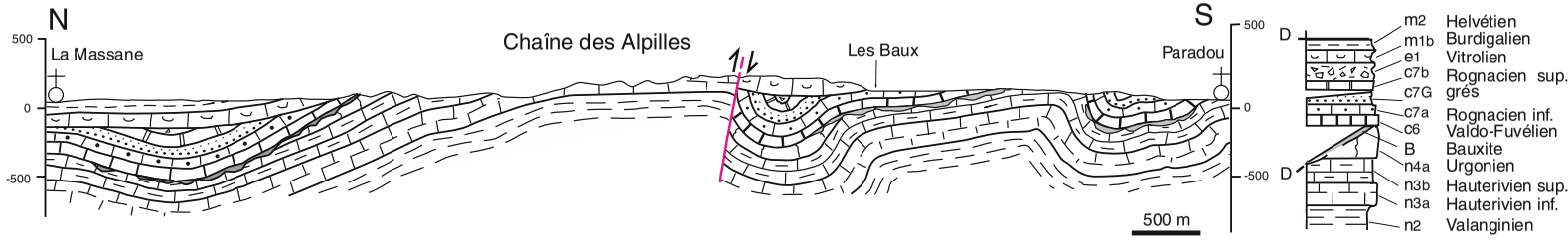
Le pli du Pic Saint Loup peut s'interpréter comme un pli de propagation né sur un accident (rampe) de direction E-W et qui s'est agrandi en avançant vers le Nord. La géométrie en profondeur de la faille F1, liée au pli, ne peut être tracée avec certitude à partir des seules données cartographiques de surface. Des complications structurales doivent exister au cœur de l'anticlinal, formé de Trias supérieur (évaporites et argiles).

Des failles de direction NE-SW (F2), verticales ou à fort pendage au Sud ont eu un jeu normal au cours de l'Oligocène moyen et supérieur. Ces failles font partie du système de failles des Cévennes (voir planche 9.13).


CHAINE DES ALPILLES
Laurade
Fzv
FzG
St-Etienne-du-Grès
Mas Blanc des Alpines
St-RÉMY-DE-PROVENCE
PCy-z
Paradou
Maussane-les-Alpilles
les Defends de Sousteyran
Bas Paradou
Mas de la Dame
Mas des Lambruques
Mas de Chabrau
Mas de Cadenière
Mas de Pomerol
Mas de Pourcin
Mas des Mourgues
Mas de Roussan
Mas de Pourcin
Mas de Valence
Mas de Pidon
Mas de Pomerol
Mas de Dauphin
Mas de Daudet
Mas de Bedarride
Mas de Cadenière
Mas de Pourcin
Mas de Valence
Mas de Pidon
Mas de Pomerol
Mas de Dauphin
Mas de Daudet
Mas de Bedarride
Mas de la Dame
Mas des Lambruques
Mas de Chabrau

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.15 – Structures polyphasées – discordances : feuilles Les Alpilles (Eyguières Nord – 993 et Châteaurenard Sud -966)

Situé entre la Provence (à l'Est) et le Languedoc (à l'Ouest), le chaînon des Alpilles présente une histoire géologique complexe dont on peut déduire les principales étapes à l'aide de l'extrait de carte choisi. Les principales étapes cartographiquement reconnaissables se sont produites du Crétacé à la fin du Tertiaire.

### Mouvements verticaux et altération continentale

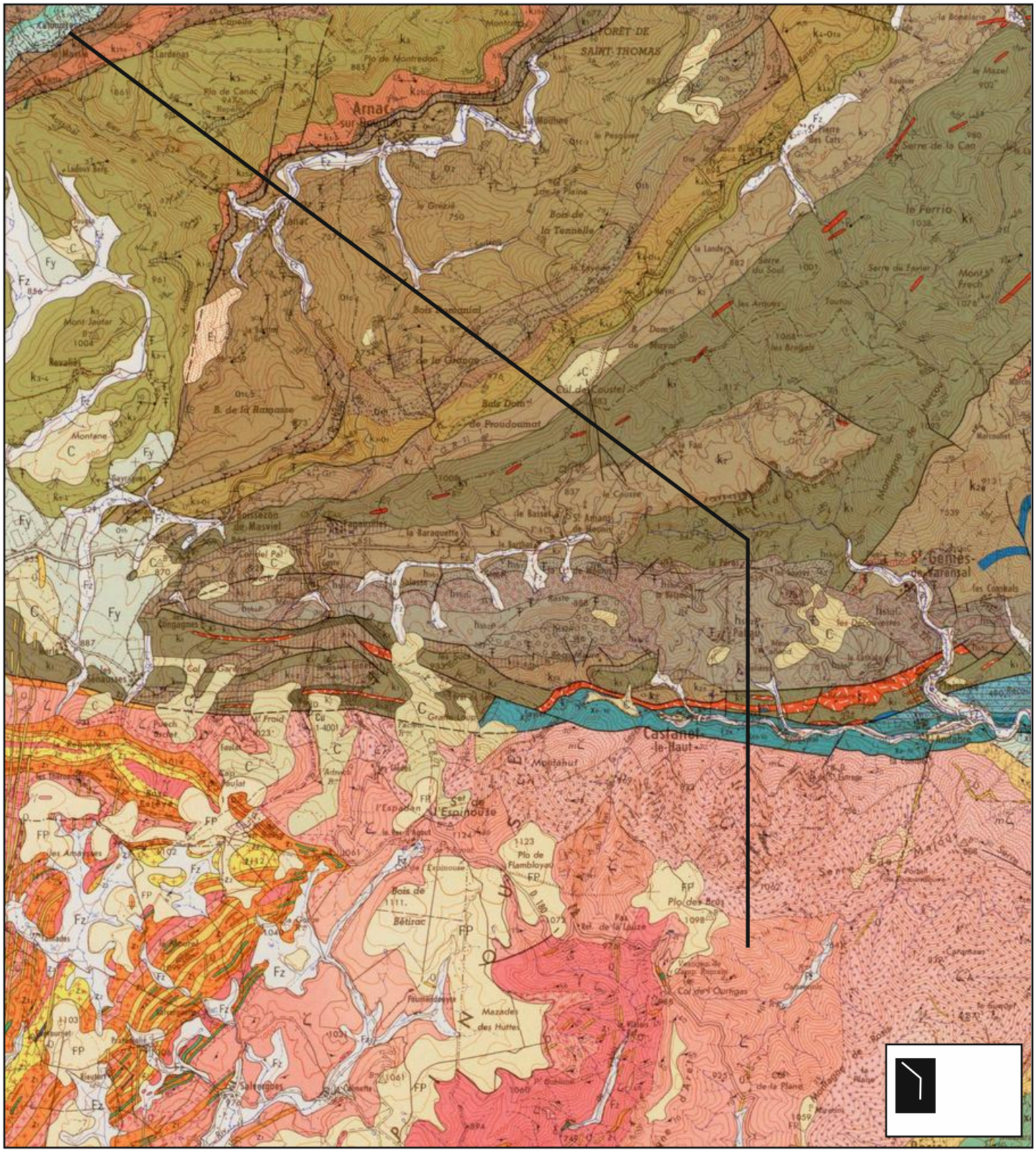
À la fin du Crétacé inférieur (après le dépôt des calcaires massifs à faciès urgonien, n4a) la région émerge et une surface d'érosion karstique se développe, piégeant dans ses creux de la bauxite (du nom du village des Baux-de-Provence), longtemps exploitée dans la région. Cette émersion forme l'isthme durancien. Ces dépôts superficiels, plus ou moins lacunaires, sont recouverts par une série fluvio-lacustre d'âge crétacé supérieur (Valdo-Fuvélien) à éocène (e1-e5).

### Compression pyrénéenne

Une phase tectonique plisse le tout en plis d'axe E-W (phase pyrénéenne) et fait (re)jouer des failles de même direction ; ces failles sont peut-être contemporaines de la formation de l'isthme durancien.

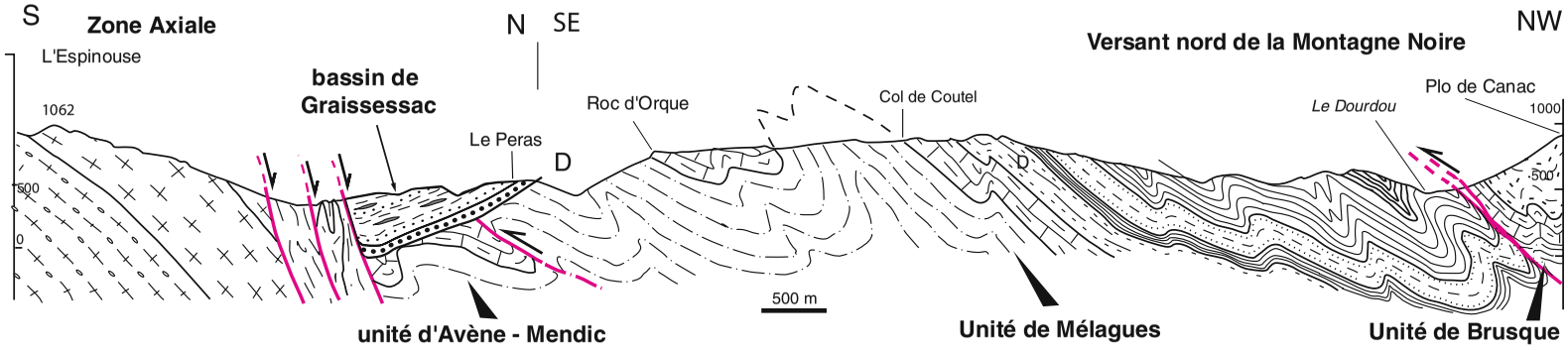
### Histoire alpine

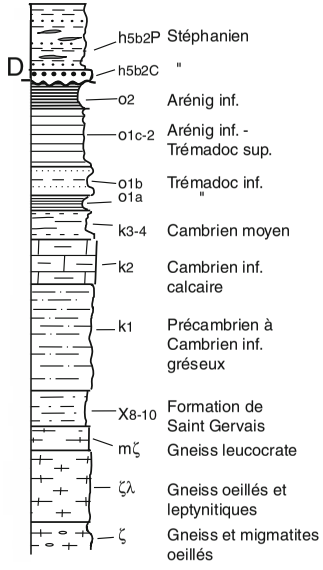
Après une longue période d'érosion (Oligocène), la mer transgresse au Burdigalien (calcaires bioclastiques, m1) et se maintient à l'Helvétien (m2). Puis une nouvelle phase tectonique, plus modérée, déforme la région en donnant des plis amples de direction approximativement E-W (phase alpine).


FORÊT DE SAINT THOMAS
Arnac sur Dourdou
Lardenas
Plo de Montredon
Plo de Canac
Bois de la Tonnelle
le Ferrio
Mont Frech
Mont Jautar
Revaliès
Montane
B. de la Ramasse
Bois de Proudoumat
Cul de Coustel
Bois Domal
Bois Domanial
Poussezon de Masviel
St Amans de Vaurin
St Gênes de Tarassal
Castanet le Haut
Montahut
Sal de l'Espinouse
Plo de Flambloyes
Bois de Bétirac
Plo des Bous
Col des Ourtigas
Mazades des Huttes
Salvergues
Cul de la Plane
Montagne de la Malte
Montagne de Marcou
Montagne de Malaq
Serre de la Cen
Serre du Soul
Serre du Fayier
Pierre des Cats
Bouyre
Rauze
Ruisseau de Mazel
Ruisseau de Mazel
Ruisseau de Mazel

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.16 – Tectonique d'écailles et de plis – demi graben : feuille Bédarieux (988)

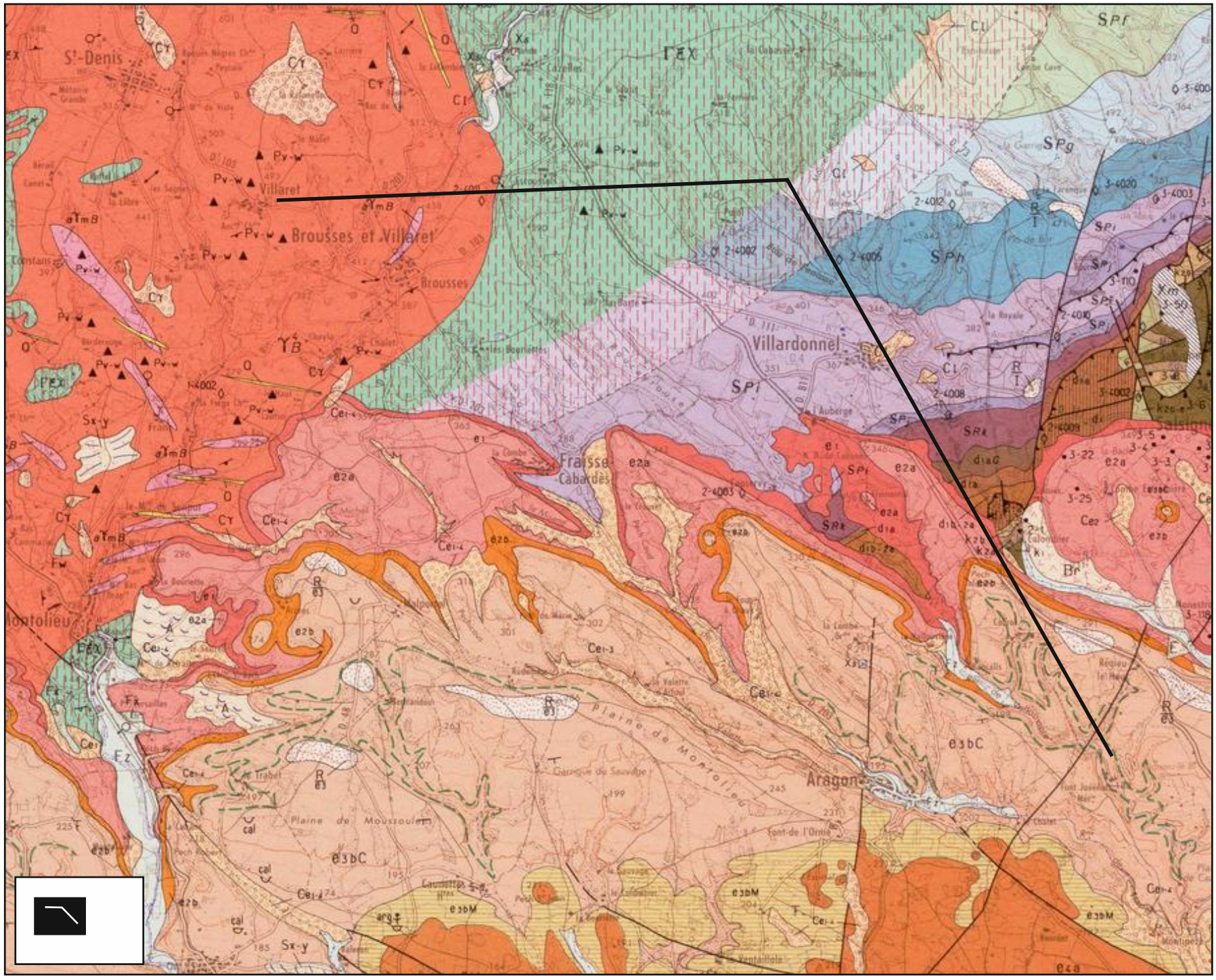
### Les structures hercyniennes du versant nord de la Montagne Noire

À l'extrémité est de la Montagne Noire, le socle de gneiss et de migmatites forme une structure antiforme, topographiquement culminante (massif de L'Espinouse) et représente la zone axiale de ce segment hercynien du Massif Central français. Un système de failles de direction E-W, à fort pendage vers le Nord, affecte des schistes (dits schistes X), représentant la couverture métasédimentaire des gneiss de la zone axiale. Au Nord de la zone axiale, un ensemble d'unités tectoniques hercyniennes forme le versant nord de la Montagne Noire. Ces unités constituées de terrains sédimentaires infracambriens à paléozoïque inférieur, sont plissées en grandes structures d'axe ENE-WSW, déversées au SSE ou au Sud. Des contacts chevauchants à mouvement vers le Sud séparent les diverses unités.

L'ensemble de ces structures résulte d'une tectonique polyphasée hercynienne, dont la phase majeure tangentielle, synschisteuse, est synmétamorphe (métamorphisme épizonal).

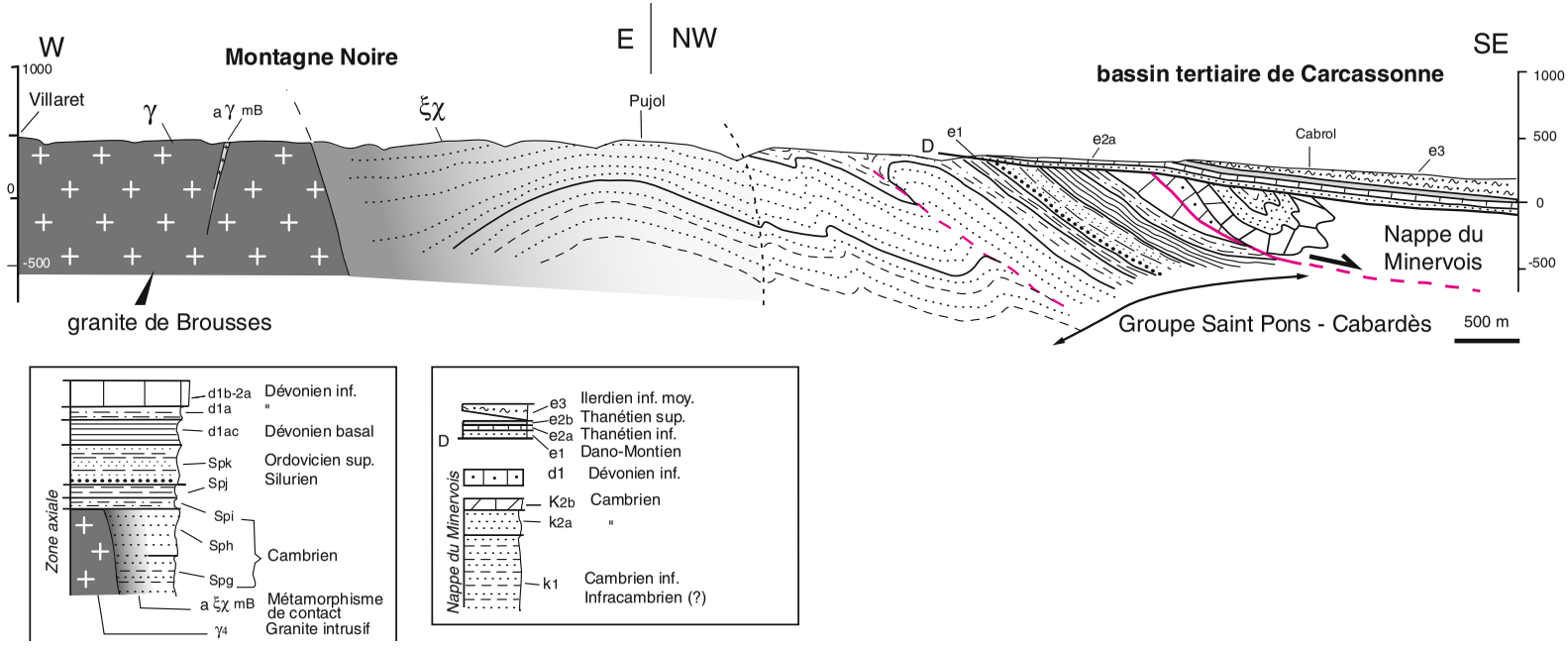
### Le bassin houiller stéphanien de Graissessac

Entre la zone axiale et les unités du versant nord s'intercalent un demi-fossé, dit de Graissessac. Ce demi-fossé, limité au Sud par les failles E-W précédemment décrites, est rempli de terrains continentaux d'âge stéphanien. Certains niveaux renferment du charbon, encore récemment exploité. Les niveaux conglomératiques de base du fossé sont discordants sur les différentes unités du versant nord. Cet étroit bassin carbonifère a été légèrement plissé et faillé lors de mouvements tardi-hercyniens et peut-être pyrénéens.


St-Denis
Villaret
Brousses et Villaret
Brousses
Villardonnel
Fraisse-Cabardès
Montolieu
Aragon
Plaine de Montolieu
Plaine de Moussoulens

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.17 – Tectonique de nappes – plutonisme et métamorphisme – discordances : feuille Carcassonne (1037)

Situé à l'extrémité sud du Massif Central, l'extrait de la carte de Carcassonne montre, au Nord, la terminaison occidentale de la Montagne Noire (voir planche 9.16), et au Sud la bordure septentrionale du bassin tertiaire de Carcassonne.

### La zone axiale et le versant sud de la Montagne Noire

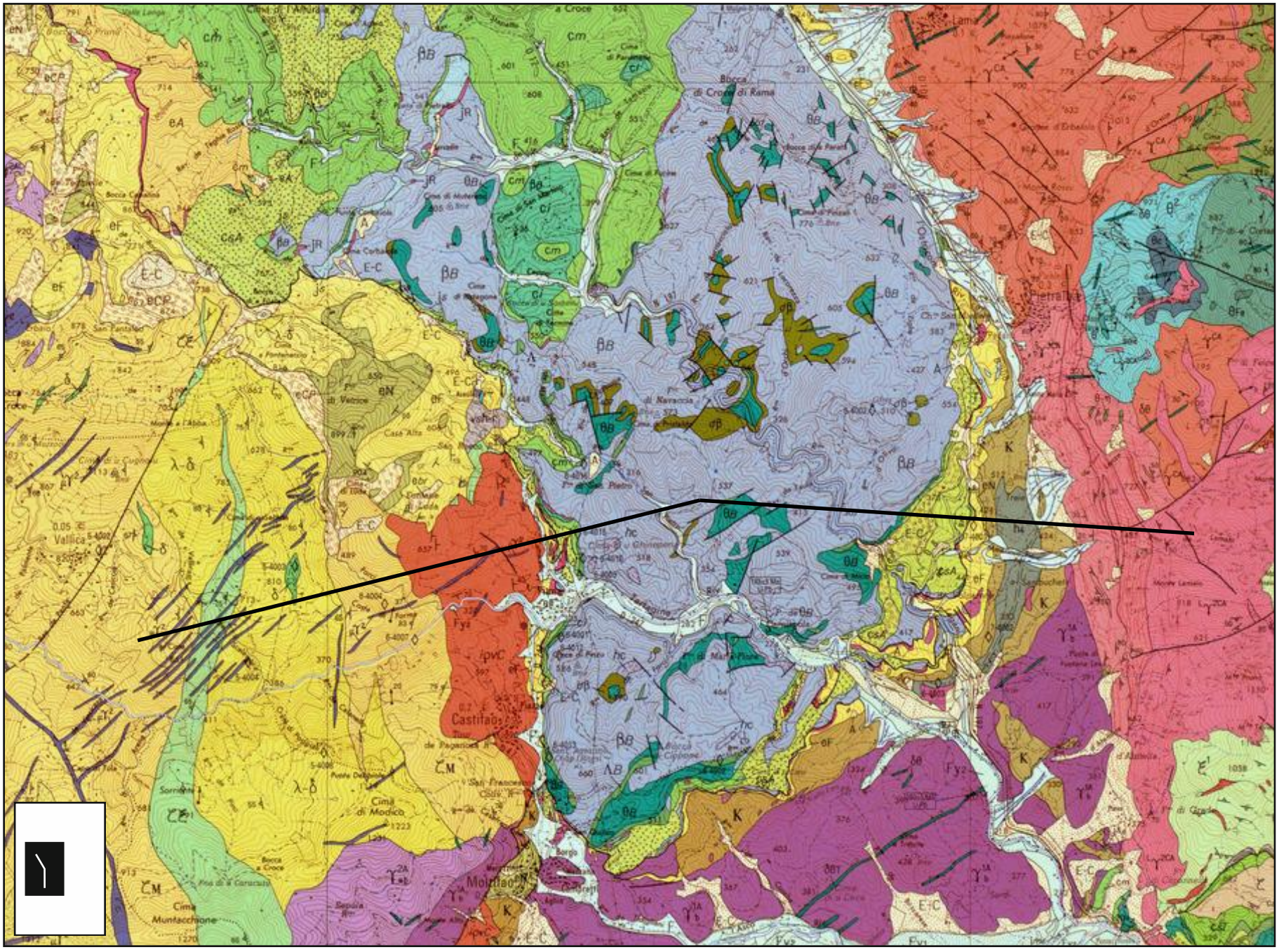
La Montagne Noire, élément méridional du domaine hercynien français, est constituée de terrains métamorphiques, d'âge supposé cambro-ordovicien puis dévonien (groupe de St Pons-Cabardès), formant la couverture sédimentaire d'un socle d'orthogneiss et de migmatites plus ancien. Le socle et sa couverture constituent la zone axiale de la Montagne Noire. Seule est visible ici la couverture, plissée en un vaste antiforme d'axe WSW-ENE, plongeant faiblement vers l'Ouest.
Un batholite granitique, le granite de Brousses (γ4B), est intrusif dans ces terrains métamorphiques et y développe une large auréole de roches (aξχ mB) à nouveau transformées par le métamorphisme de contact autour du granite.

Des unités sédimentaires d'âge cambrien, ordovicien, dévonien, peu ou pas métamorphiques, reposent en contact tectonique sur les séries métasédimentaires de la zone axiale et forment des unités charriées (nappes du versant sud de la Montagne Noire, ici nappe du Minervois). Ces nappes complexes (séries renversées, plissées en antiformes et synformes) ont un déversement vers le Sud.

### La couverture tertiaire du nord Roussillon

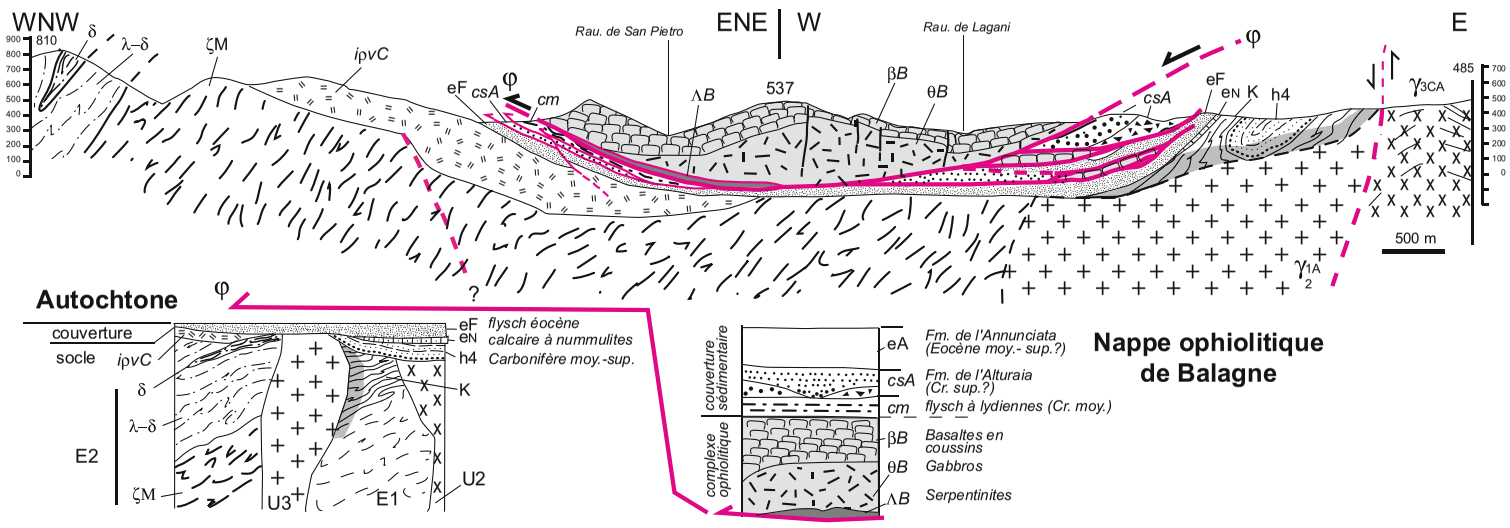
Les formations tertiaires (éocènes) du bassin de Carcassonne, généralement continentales (calcaires lacustres), reposent en discordance franche (D) sur les terrains paléozoïques structurés au cours des divers événements tectoniques hercyniens et sur les granites intrusifs, après une forte érosion et remontée de ces terrains anciens.

Les déformations pyrénéennes sont faibles sur la région, basculant de quelques degrés vers le Sud les formations tertiaires, dans lesquelles l'incision des rivières descendant de la Montagne Noire dessine de larges chevrons.


Vallica
Castifao
Cima di Modico
Cima Muntacchione
Moltifao
Bocca di Croce di Rama
Cima di Narraccia
Cima di Pietro
Cima di Matra Piana
Cima di Pietra
Cima di Fozzali
Cima di Mutenaccia
Cima di San Damiano
Cima di Pagaricci
Cima di Fontanaccia
Cima di Vezzone
Cima di Tocca
Cima di Pietra
Cima di Pietra
Cima di Pietra

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.






## Planche 9.18 – Nappe ophiolitique, plutonisme et métamorphisme : feuille Santo-Pietro-di-Tenda (1106)

La carte de Santo Pietro di Tenda, située au nord de la Corse (fig. 8.4), illustre un système de **nappe de nature océanique** (ophiolites) superposé à un **substratum** (autochtone) **complexe**.

### L'autochtone de la région de Santo Pietro di Tenda

Il comprend un socle métamorphique et plutonique et une couverture sédimentaire. Le socle métamorphique est constitué d'un ensemble ancien « panafricain » (E1) (gneiss, micaschistes et amphibolites) et d'un ensemble eo-hercynien (E2) (gneiss de Belgodère). Le « collage » tectonique de E1 et E2 est antérieur ou contemporain de la mise en place, vers 340 Ma. des premiers éléments (U1) (K) d'un vaste complexe batholitique d'âge Permo-Carbonifère. Un plutonisme calco-alcalin (U2) se produit ensuite au Carbonifère sup. – Permien, mettant en place dans le même secteur des monzogranites à biotite, $\gamma^{3CA}$ et des leuco-monzogranites $L\gamma^{2CA}$ , formant le massif de Tenda (limite est de la coupe). Des formations sédimentaires flyschoïdes d'âge carbonifère moyen – supérieur (formation de Solche, h4) s'accumulent dans des fossés approximativement NS au pied du massif du Tenda. Un troisième épisode volcano-plutonique (U3), d'âge permien inférieur se superpose ou intrude le socle sous la forme d'ignimbrites et de pyroclastites (irvC) ou de pluto-volcans alumineux (dits du Mt. Cinto) ($\gamma^{1}b$) qui métamorphise à son contact les roches encaissantes.

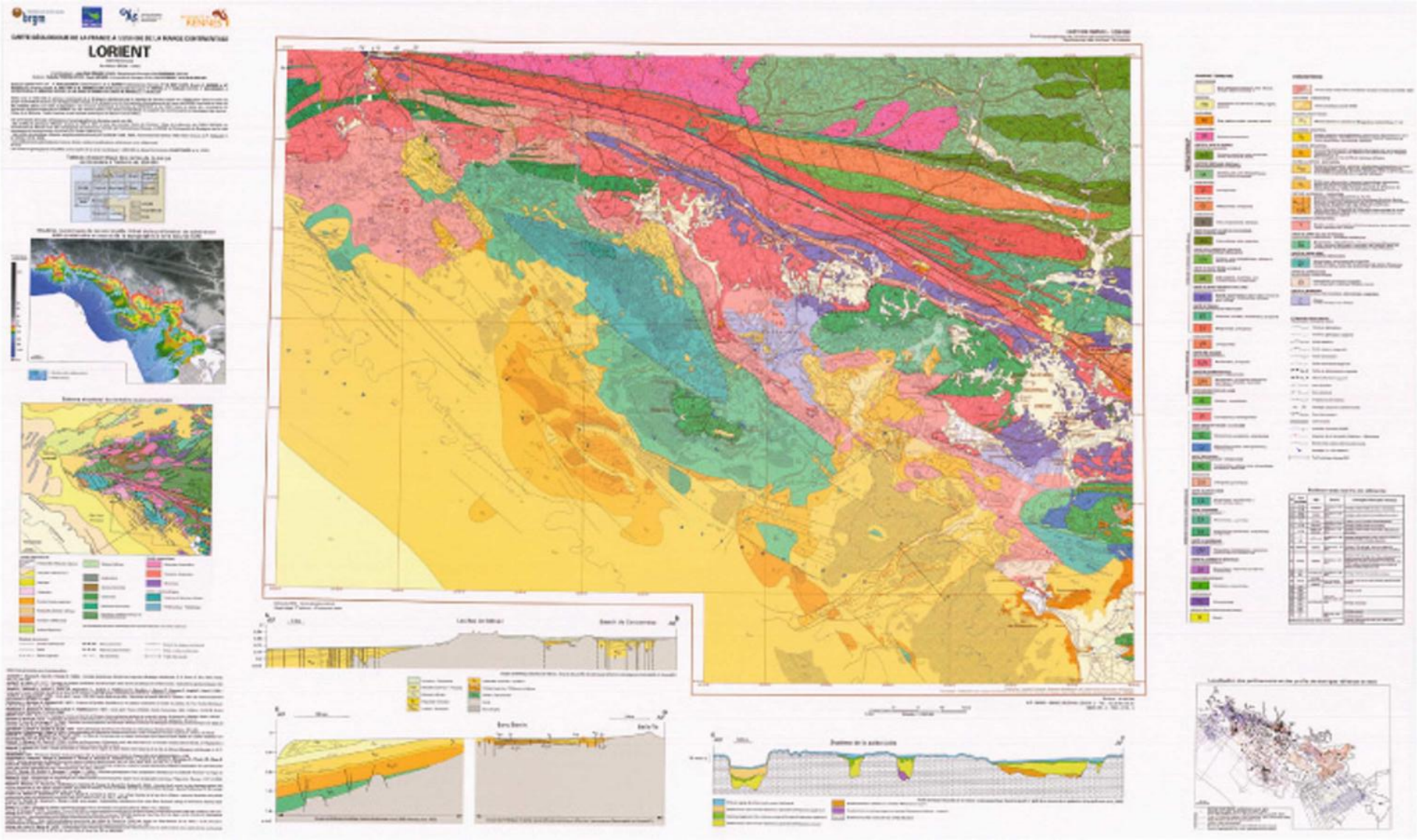
Ce socle « ancien » est recouvert en **discordance** par une série sédimentaire réduite et lacunaire représenté sur l'extrait de coupe par un flysch (eF) d'âge éocène. À sa base se développent localement des calcaires à nummulites (eN).

### La nappe de nature océanique

La nappe, appelée « nappe de Balagne », comprend une partie inférieure ophiolitique formée essentiellement de basaltes en coussins (βB), surmontant des gabbros (θB) parfois séparés par des dolérites filoniennes (δB), tandis qu'à sa base affleure un liseré de serpentinites (ΛB). La partie ophiolitique est recouverte d'une couverture détritique débutant par un flysch à lydiennes (Cm), d'âge crétacé moyen riche en olistolithes, puis par une formation gréso-conglomératique (C.sup. ?) dite d'Alturaia et par la formation d'Annunciata d'âge éocène moy.-sup., non visible sur la coupe mais bien exprimée plus au nord.

### La mise en place (alpine) de la nappe de Balagne

La tectonique tertiaire à laquelle est rattachée la mise en place de **la nappe de Balagne** appartient à l'histoire alpine de la Corse. La nappe séparée de sa racine par l'érosion est actuellement en situation de klippe synclinale, due aux mouvements tardifs alpins. Sa mise en place s'est faite par charriage du matériel volcanique et sédimentaire d'est en ouest. Plusieurs écailles fichées dans le flysch éocène seraient des lambeaux de la nappe (olistolithes) chevauchés ensuite par la nappe. Enfin une faille normale en bordure est de la nappe, sur le revers du Tenda, effondre le compartiment ouest et permet la conservation de celle-ci.


LORIENT

# La lecture des cartes géologiques à petite échelle : avantages et inconvénients

CHAPITRE 10

En dehors des cartes géologiques détaillées (cartes à grande échelle à 1/25 000, 1/50 000) dont il a été question jusqu'ici, il existe des cartes géologiques de petite échelle (1/1 M, 1/5 M et plus), représentant la géologie de pays entiers et même l'intégralité de continents. Ces cartes se lisent, en partie, comme les autres cartes grâce à leur codification internationale de couleurs et de symboles ; mais elles ne permettent pas de réaliser des coupes détaillées car on ne peut pas accéder à la connaissance des structures dont la construction est basée sur les principes de relation entre topographie et traces des surfaces géologiques (cf. chapitre 3). En revanche les cartes à petite échelle, tout en simplifiant les détails, gardent les traits géologiques essentiels des grandes régions telles que les chaînes de montagne, les bassins sédimentaires, les boucliers anciens ou les grands accidents des domaines continentaux. Elles permettent également de relier la géologie continentale à celle des domaines océaniques au travers des marges qui sont mieux connues grâce aux données de plus en plus précises et complètes, régulièrement acquises. Enfin, et c'est peut être un des apports les plus intéressants de ces cartes géologiques à grande échelle, c'est la visualisation des principaux éléments géologiques (zones plissées, discordances, zone plutonisées, chaînes volcaniques etc.) permettant la reconstitution de l'histoire de la Terre, qui peut être mise en corrélation avec les informations des cartes paléogéographiques (références en fin du chapitre).

En prenant quelques exemples sur diverses cartes de l'Atlas Géologique du Monde au 1/10 000 000 (UNESCO – CCGM, 1976) nous proposons une lecture guidée permettant d'acquérir quelques éléments de méthode que chacun modifiera et améliorera au cours de ses expériences personnelles.

## 10.1 L'exemple du continent nord-américain. (fig. 10.1)

Le bouclier canadien formé de vieux terrains (couleur rose), est bordé au sud par des terrains paléozoïques formant les vastes plaines intérieures et par la terminaison nord de la chaîne des Appalaches à l'est. Au-delà des plaines intérieures surgissent les Montagnes Rocheuses. Au sud les formations crétacées et tertiaires du golfe du Mexique (SL) se raccordent à la plaine côtière est-américaine.

### La bordure sud du bouclier canadien (fig. 10.1-A)

Les vieux terrains Archéens – ici la province Algomien-Lac supérieur, d'âge compris entre 2 300 et 3 300Ma – décapés par l'avancée de l'inlandsis canadien, au maximum de l'extension glaciaire quaternaire, sont recouverts en discordance (D1) par le Protérozoïque supérieur.

La plateforme nord-américaine stable est recouverte en discordance (D2) par les dépôts paléozoïques (Cambrien, Ordovicien, Silurien, Dévonien, Carbonifère).

### La chaîne des Appalaches (fig. 10.1B-2)

Sur la bordure occidentale de la chaîne les terrains paléozoïques sont déformés en plis et chevauchements. Le cachetage de structures par le Dévonien (*) serait le résultat de la fermeture de l'océan Iapetus et d'une phase de déformation dite « taconique ». La structuration de la chaîne se poursuit jusqu'au Carbonifère et au Permien (orogénèse alléghanienne).

La partie centrale et orientale est plus complexe et ne peut être facilement déchiffrée à cette échelle.

### Les Monts Ouachita (fig. 10.1B-3)

La tectonique de plis et de chevauchements à vergence vers le nord, qui affecte les formations cambriennes à carbonifères des Monts Ouachita, résulte de la déformation de la plate-forme précambrienne nord-américaine lors de l'orogénèse hercynienne.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

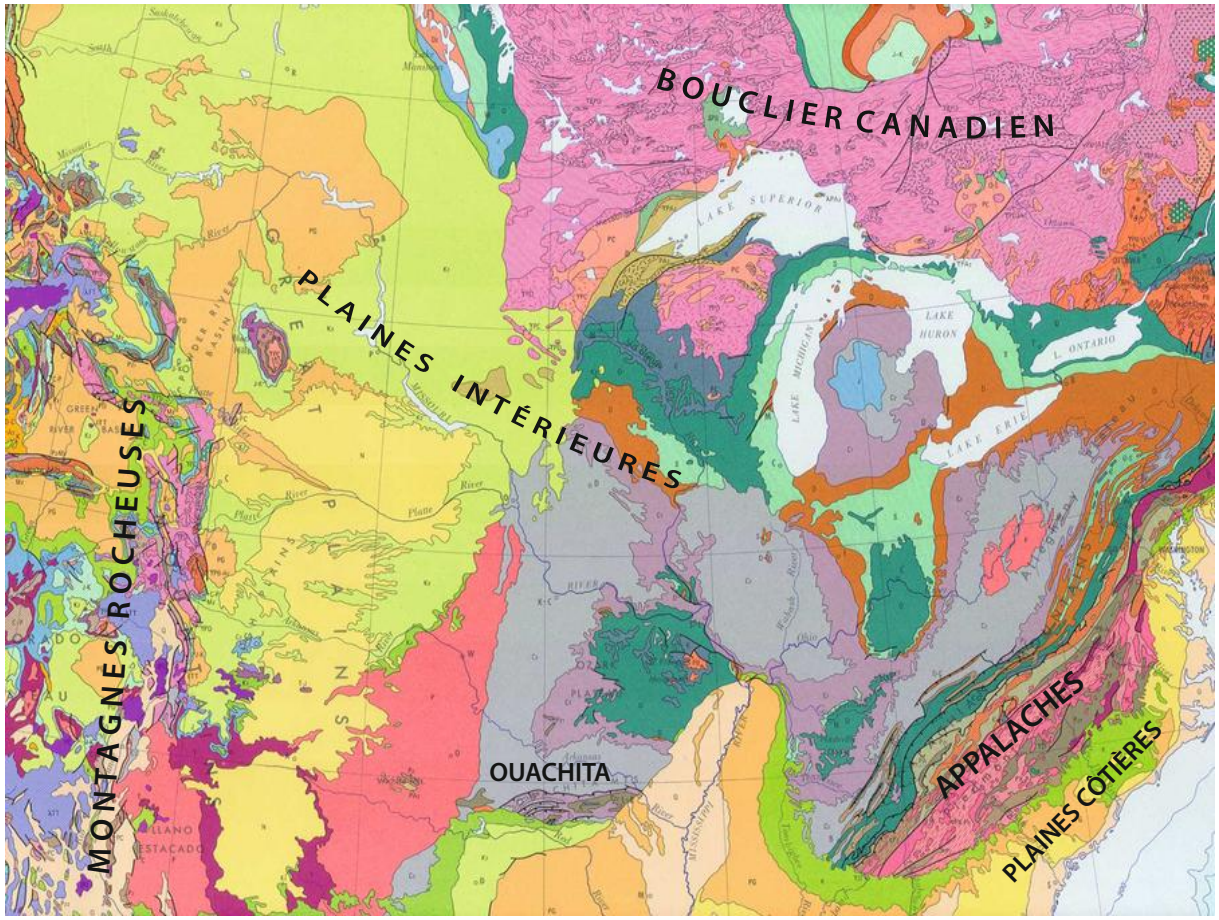



**Figure 10.1A** **Extrait de la carte géologique de l'Amérique du Nord. (Feuille n° 3 de l'Atlas Géologique du Monde, 1/10 000 000, UNESCO-CCGM (1976)) modifié.**

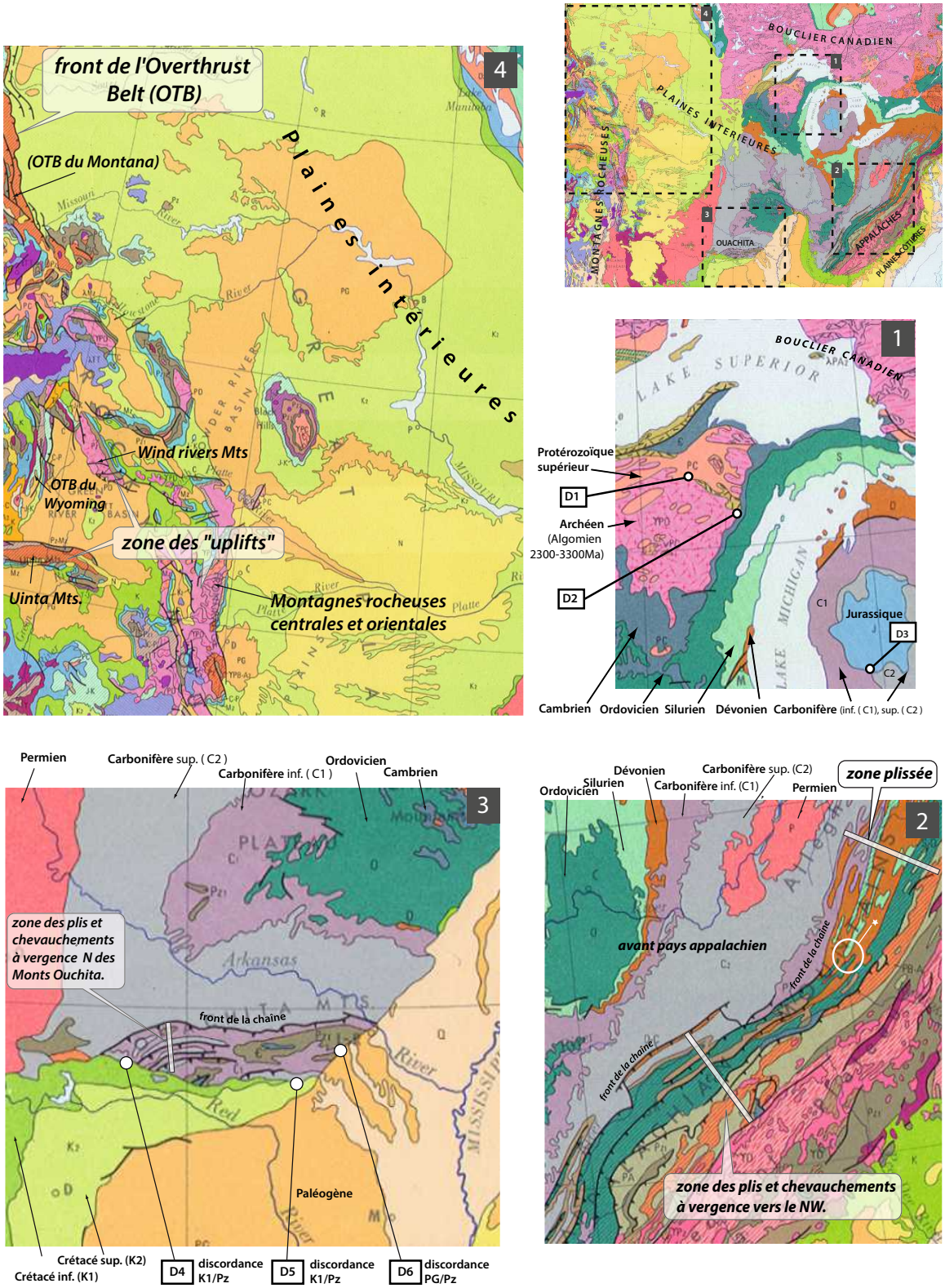



**Figure 10.1B** Détails de la figure 10.1A : en haut à droite localisation des encarts détaillés. Encart (1) : La bordure sud du bouclier canadien ; encart (2) : La chaîne des Appalaches ; encart (3) : Les Monts Ouachita ; encart (4) : Les Montagnes Rocheuses.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

### Les Montagnes Rocheuses (fig. 10.1B-4)

Le front de chevauchement de l'Overthrust Belt (OTB) limite la Cordillère Nord-américaine vers l'est. C'est une chaîne de collision dont la formation débute au Crétacé et se termine au début du Tertiaire. La déformation se fait par décollement, empilement et plissement d'unités tectoniques. Au front de la chaîne s'accumulent dans des bassins continentaux, les produits d'érosion de celle-là. Dans l'avant pays de l'OTB surgissent en même temps des reliefs autochtones (les « uplifts ») très importants (Wind Rivers Mts, Uinta Mts…) formant les Rocheuses orientales et centrales.

L'avant – pays des plaines intérieures reste indéformé.

## 10.2 L'exemple de l'Europe du Nord (fig. 10.2).

À l'image du continent nord-américain s'étend en Europe du Nord un vaste bouclier de terrains très anciens précambriens – le bouclier baltique – au nord, se poursuit vers le sud et l'est sous les terrains paléozoïques de la plate-forme russe. Une chaîne de montagne – la chaîne calédonienne – borde le bouclier vers le nord ouest.

Décapé par les glaces de l'inlandsis quaternaire, des lacs (lac Ladoga, lac Onega) et de golfes (de Finlande et de la Mer Blanche), délimitent l'extension de celui-ci.

### Le bouclier baltique

Le bouclier baltique est un ensemble de terrains métamorphiques dont les plus anciens (les Carélides), d'âge archéen, sont situés à l'est, auxquels sont accolés vers l'ouest des terrains plus récents, d'âge protérozoïque formant les Svécofennides, puis les Dansladides.

### La chaîne calédonienne

Constituée de terrains cambriens, ordoviciens et siluriens, elle se présente comme un empilement de nappes métamorphiques à vergence sud-est sur la bordure du bouclier baltique. Elles ont été mises en place au cours de plusieurs phases tectoniques produites, avant le Dévonien, lors de la fermeture de l'océan Iapetus, entre les blocs continentaux Laurentia et Baltica.

### La plate-forme russe

Dans sa terminaison occidentale (Golfe de Finlande) le Paléozoïque inférieur (Cambrien, Ordovicien et Silurien) surmonte en discordance (1) des terrains du Protérozoïque supérieur localement préservés.

Le Dévonien moyen (2) puis supérieur (3) transgresse largement sur la plate-forme centrale où il repose en discordance jusque sur les vieux terrains du bouclier balte (4).

La série carbonifère s'étend en discordance cartographique (5) selon une bande nord-sud depuis la Mer Blanche. Elle limite vers l'ouest le vaste bassin permien qui représente les deux-tiers de la plate-forme russe.

Quelques placages de Jurassique (6) et de Crétacé discordants (7) sur les terrains paléozoïques indiquent des zones de subsidence locales.

La transgression du Crétacé inférieur et surtout du Crétacé supérieur est particulièrement visible sur la bordure sud et ouest de la plate-forme.

### La chaîne de l'Oural

La chaîne de l'Oural longue de plus de 2 000 km (seule la moitié nord est visible sur la figure) est constituée de terrains paléozoïques – du Cambrien au Permien supérieur – plissés et faillés. Le Trias n'est pas affecté et les terrains jurassiques (moyen et supérieur) reposent en discordance sur les plis de l'Oural (8).

Cette chaîne, typique des chaines de collision continentale, se situe entre le grand bloc occidental (la Laurussia) et le bloc oriental (l'Angara) qui supporte la Sibérie occidentale et centrale. La chaîne de l'Oural participe à la réalisation de la Pangée.

## 10.3 L'exemple des chaînes de Sibérie orientale (fig. 10.3)

Moins familiers que les exemples précédents les chaînes de l'Asie du nord-est sont un bel exemple de lecture de carte géologique à très petite échelle. Nous focaliserons notre lecture sur la chaîne de Verkhoïansk (SL) qui s'étire sur la bordure occidentale des Monts de Sibérie orientale et limite le plateau de Sibérie Centrale. Le fleuve La Lena longe à l'ouest les contreforts de cette chaîne.

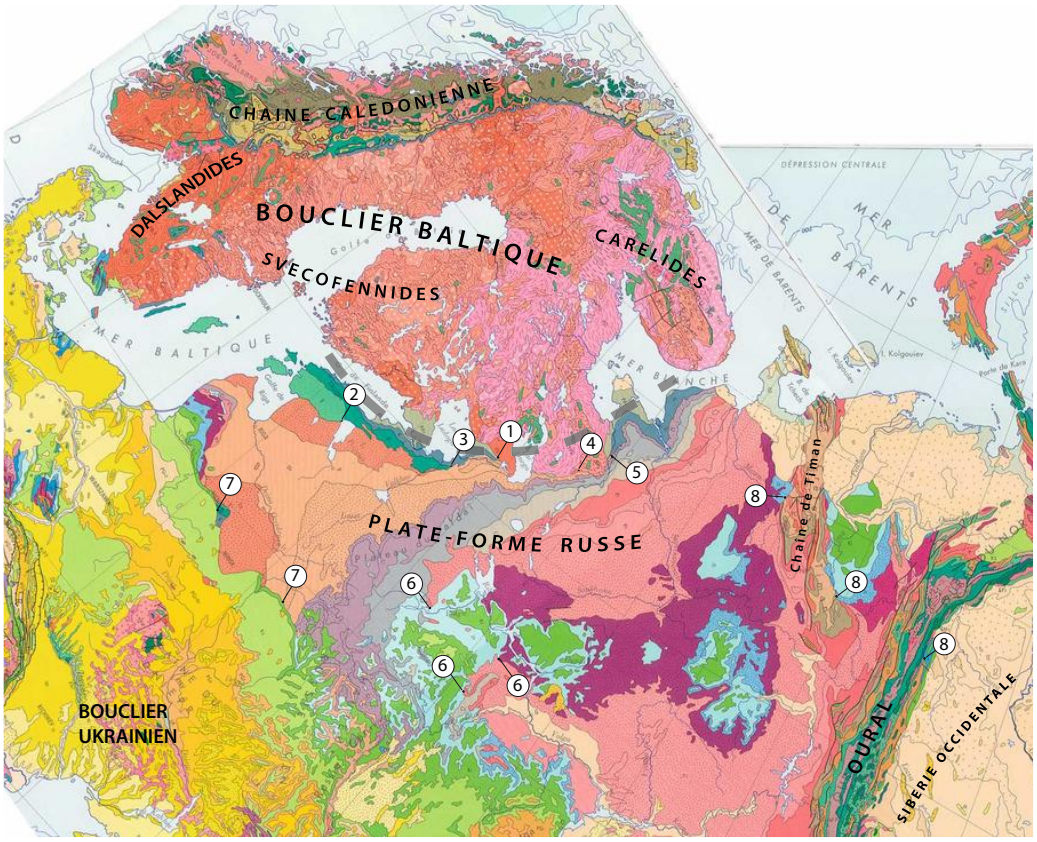



**Figure 10.2** **Extrait de la carte géologique de l'Europe du Nord (Feuille n° 13 de l'Atlas Géologique du Monde, 1/10 000 000, UNESCO-CCGM (1976)) modifié.**

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

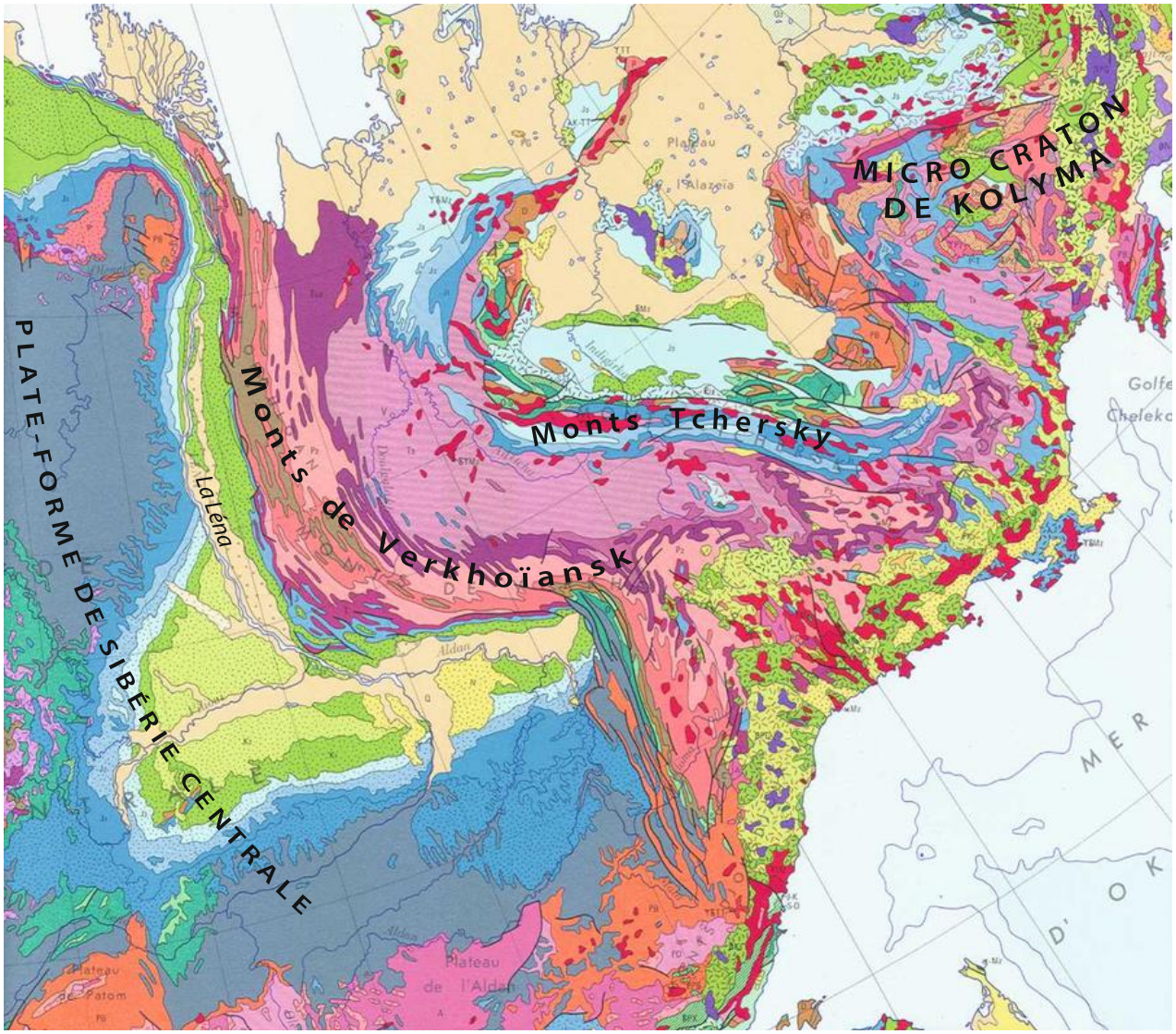



**Figure 10.3A** **Extrait de la carte géologique de la Sibérie orientale (Feuille n° 12 de l'Atlas Géologique du Monde, 1/10 000 000, UNESCO-CCGM (1976)) modifié.**

## La chaîne de Verkhoïansk (fig. 10.3B)

Longue de 1 500 kilomètres cette chaîne de direction nord-sud (1) montre une grande inflexion (2) dans sa partie centrale et se retrouve largement déportée vers l'est. Les terrains déformés sont d'âge carbonifère à jurassique moyen. La tectonique y est de type plis/chevauchements avec une vergence vers l'ouest ou le sud-ouest sur la bordure de la plate-forme sibérienne. Les terrains paléozoïques forment le cœur de la partie nord et centrale de la chaîne et, en totalité, les structures de sa partie méridionale (3) ; cela suggère une hétérogénéité structurale très forte, peut-être paléogéographique au niveau de la virgation centrale et explique celle-ci.

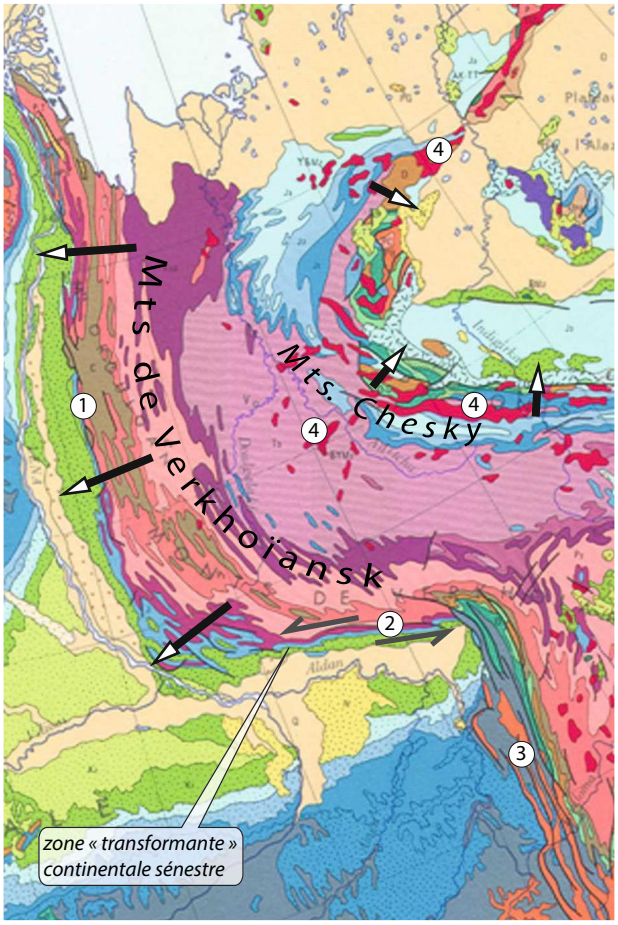



**Figure 10.3B** **Détails de la figure 10.3A, concernant la chaîne de Verkhoïansk et de Chesky.**

## La chaîne de Chesky (fig. 10.3B)

Séparée de la chaîne de Verkhoïansk par un bassin triasique plus ou moins déformé, elle est constituée de terrains surtout jurassiques et paléozoïques. La tectonique y est moins tangentielle que dans la chaîne de Verkhoïansk, avec une vergence des structures vers l'est, sur la plateforme de la Kolyma. À la différence avec sa voisine occidentale elle est intrudée de nombreux plutons de granites crétacés (4).

Cette région illustre assez bien un dispositif tectonique de chaîne de collision légèrement asymétrique, à déversement opposé sur les blocs continentaux adjacents.

## En conclusion

Dans les exemples présentés ici (Atlas Géologique du Monde à 1/10 000 000, publié par l'UNESCO/CCGM – 1976) n'ont pas pu être prises en compte les données géologiques des marges continentales, qui n'étaient pas représentées. Nous conseillons de faire le même exercice de lecture de cartes à petite échelle sur la carte internationale tectonique de l'Europe (UNESCO/CCGM – 1996° AU 1/15 000 000, où la géologie des marges est reportée. Sur ce type de document il est alors possible de relier géologie continentale et géologie des fonds océaniques et de s'informer sur la géodynamique des zones essentielles que sont les marges continentales.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

# Les cartes géologiques du BRGM

Depuis 1968, le BRGM s'est vu confier la mission de réaliser les cartes géologiques de la France. Trois échelles sont disponibles et chacune possède sa propre utilité. Elles constituent la base indispensable à la connaissance pour toutes les applications touchant le domaine des géosciences.

La carte à l'échelle 1/1 000 000, couramment appelée « le million », correspond à une échelle permettant de disposer d'un document synthétique. Comme 1 cm sur la carte représente 10 km sur le terrain, elle offre le recul nécessaire pour comprendre la structuration géologique du pays et sa vocation pédagogique est bien reconnue. La première édition de la carte géologique de la France à l'échelle 1/1 000 000 date de 1869. Elle a depuis été réactualisée tous les trente ans environ au fil de l'amélioration des connaissances et de l'évolution des concepts. En 1996, la 6e édition représentait pour la première fois la Corse à sa place ce qui avait pour effet de donner une représentation meilleure de l'arc alpin en élargissant la carte vers les pays voisins. De nombreuses innovations, notamment la représentation de l'âge des roches plutoniques par des couleurs, en conservant l'information sur les lithologies par des figurés dans les couleurs, permettaient d'avoir une double lecture de loin comme de près du document. En 2003, une 6e édition révisée et augmentée de nombreuses nouvelles données conserve les innovations. Mais elle fait date car elle devient pour la première fois géoréférencée et disponible sous forme vecteur. Ce n'est plus seulement une image imprimée qui est disponible mais des polygones pouvant être intégrés dans des SIG (Systèmes d'informations géographiques).

Les cartes géologiques à l'échelle 1/250 000 (où 1 cm équivaut à 2,5 km) proposent une vision à l'échelle régionale. Sur les 44 cartes qui couvrent le territoire métropolitain, seules 15 sont disponibles à la vente. La dernière en date est la feuille Lorient, parue en 2009, qui présente l'originalité d'avoir une partie marine issue de levés originaux très détaillés. Ces cartes sont à la fois un outil scientifique et un outil pédagogique pour tous ceux qui s'intéressent aux sciences de la Terre, à l'environnement et à la gestion durable des ressources naturelles.

Les cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 sont les plus précises. Même si quelques réalisations ont été effectuées à partir de 1925, ce programme n'a pris de l'ampleur qu'à partir des années 1970. Ces cartes s'appuient sur le fond topographique de l'Institut Géographique National (IGN), à la même échelle, qui découpe le pays en 1 060 cartes couvrant une surface d'environ 30 × 20 km. À cette échelle, la totalité du territoire sera couverte à l'horizon 2017. Extraordinaire banque de données, ces cartes détaillées sont devenues le document de référence indispensable pour tous les praticiens des sciences de la Terre opérant sur le sol national (bureaux d'études, collectivités, écoles et universités, entreprises de travaux publics, enseignants, éditeurs de guides touristiques, etc.). Toutes les cartes publiées sont disponibles aujourd'hui sous forme numérique et exploitables dans des SIG.

Pour faciliter leur compréhension, toutes les cartes, à l'exception du million, sont accompagnées d'une notice explicative plus ou moins volumineuse qui couvre l'ensemble des thématiques : description des terrains, histoire géologique, ressources minérales, hydrogéologie, etc. Depuis les années 1980 les cartes et leurs notices sont validées sur le plan scientifique par un comité de la carte géologique composé des meilleurs spécialistes de cartographie géologique en France et d'experts BRGM.

L'ensemble des cartes de France à 1/50 000 du BRGM est consultable sur « InfoTerre » http://infoterre.brgm.fr et à travers le Géoportail : http://editions.brgm.fr. On peut se les procurer en allant directement sur le site des éditions du BRGM http://www.brgm.fr/editions.jsp. Une belle occasion pour découvrir le catalogue avec plus de 2 500 références concernant les cartes mais aussi les ouvrages techniques et de vulgarisation.

# Bibliographie


## Références bibliographiques

P. Ambert, *L'évolution géomorphologique du Languedoc central depuis le Néogène. Grands Causses méridionaux, Piémont languedocien*, document n° 231 du BRGM Orléans, 1994.

J. Aubouin, J. Dercourt et B. Labesse, *Manuel de travaux pratiques de cartographie*, Paris, Dunod, 1970.

G.M. Bennison and K.A. Mosely, *An introduction to geological structures and maps* ; Londres, Arnold, 6e édition, 1997.

A. Bonte, *Introduction à la lecture des cartes géologiques* ; Paris, Masson, 3e édition, 1958.

D.M. Ragan, *Structural Geology. An introduction to geometrical techniques* ; New York, J. Wiley, 2e édition, 1973.

## Cartes géologiques

Éditions du BRGM, Orléans, France.
Voir le site http://editions.brgm.fr
– Cartes géologiques de la France à 1/50 000.
– Cartes géologiques de la France à 1/250 000.
– Carte géologique de la France à 1/1 000 000, 6e édition révisée (2003).

**Références :**

Pour les cartes géologiques à petite échelle :

Atlas Géologique du Monde à 1/10 000 000, (UNESCO/CCGM – 1976).

Carte internationale tectonique de l'Europe à 1/15 000 000 (UNESCO/CCGM – 1996).

Pour les cartes paléogéographiques et articles associés :

G.M. Stampfli, G.D. Borel. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 196 (2002), 17-33.

Jan Golonka. Late Triassic and Early Jurassic palaeogeography of the World. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* 244 (2007), 297-307.

J.Golonka. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic. *Tectonophysics,* 381 (2004), 235-273.

Voir aussi les sites relatifs aux travaux de ces auteurs : Par exemple : C.Scotese : Paleomap Project (www.scotese.com/earth.htm).

## Pour les informations régionales

*Guides géologiques régionaux*, Paris, Masson.
Voir aussi les guides géologiques régionaux coédités par le BRGM.

## Pour des informations théoriques en Sciences de la Terre

G. Boillot, Ph. Huchon, Y. Lagabrielle, J. Boutler, *Introduction à la géologie. La dynamique de la lithosphère*, Paris, Dunod, 5e édition, 2013.

M. Campy, J-J. Macaire, *Géologie de la surface*, Paris, Dunod, 3e édition, 2013.

I. Cojan, M. Renard, *Sédimentologie*, Paris, Dunod, 3e édition, 2013.

J. Debelmas, G. Mascle, C. Basile, *Les grandes structures géologiques*, Paris, Dunod, 2008.

J. Dercourt. *Géologie et géodynamique de la France Outre-mer et européenne*, Paris, Dunod, 3e édition, 2003.

J. Dercourt, J. Paquet, P. Thomas, C. Langlois, *Géologie : objets, méthodes et modèles*, Paris, Dunod, 12e édition, 2006.

S. Elmi, C. Babin, *Histoire de la Terre*, Paris, Dunod, 6e édition, 2012.

A. Foucault, J-F. Raoult, F. Cecca, B. Platevoet *Dictionnaire de Géologie*. Paris, Dunod, 8e édition, 2014.

A. Foucault, *Guide du géologue amateur*. Paris, Dunod, 2e édition 2014.

A. Foucault, *Climatologie et paléoclimatologie*, Paris, Dunod, 2009.

L. Jolivet, H-C. Nataf, *Géodynamique*, Paris, Dunod, 1998.

J. Mercier, P. Vergely, Y. Missenard Tectonique. Paris, Dunod, 3e édition, 2011.

C. Pomerol, Y. Lagabrielle, M. Renard, *Éléments de géologie*, Paris, Dunod, 14e édition, 2011.

## Sites

http://infoterre.brgm.fr
http://worldwind.arc.nasa.gov/
http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre
http://www.sgfr.org


© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

# INDEX


**A**

abrupt 12
accident tectonique 15
affleurement 15, 25
– largeur d' 15, 25
– surface d' 25, 26
allochtone 40, 103
allochtonie 99
anticlinal 87, 89, 95
auréole (métamorphisme de contact) 50
autochtone 40, 99, 103, 115
axe de pli 36, 65, 87, 89, 97, 109, 111
azimut 19

**B**

bassin sédimentaire 79
boussole 19
butte témoin 35

**C**

cachetage 48
carte 5, 7, 29, 47
– géologique 5, 29, 47
– topographique 7
cartouche 13
charriage 65
chevauchement 65, 95, 101
clinomètre 19
colonne lithostratigraphique 18, 59, 69, 73
commentaire de carte 73
concave (pente, versant) 11
concordance 43
cône 14, 40, 85
– de déjection 14
– volcanique 43, 85
contact tectonique (ou anormal) 15, 87
contour géologique 15
convexe (pente, versant) 11
corniche 11
coulée (volcanique) 40
coulée de lave 85
coupe équilibrée 67
coupe géologique 59, 67
courbe 8, 20
– de niveau 8, 9, 20
– intercalaire 10
– maîtresse 10
crêt 87
crochon (de faille) 66
cuesta 35
cuvette 12
cycle orogénique 79

**D**

datation radiométrique 14
déclinaison 19
décollement 93, 99, 101
dépôt syntectonique 49
déversement 111, 113
direction de couches, de structures 15, 19
discordance (angulaire, cartographique) 43, 44, 53, 66, 81, 91, 93, 101
disharmonique 65
dôme (volcanique) 40, 85
duplex 39
dyke 40, 50

**E**

éboulis 14
écaille 97
échelle 9, 14, 59
– numérique 9
– stratigraphique 14, 59
épaisseur (de terrain) 60
équidistance 10
extension tectonique 83

**F**

faille 37, 91
– chevauchante (chevauchement) 40
– décrochante 105
– inverse 39, 91, 93, 95
– normale 45
fenêtre (demi-fenêtre) tectonique 103
figurés lithologiques 63, 69, 70
filon 15, 43
fond topographique 7
formation 13, 14
– glaciaire 14
fossé 39
– tectonique 39
fossiles 14

**G**

géochronologie, radiochronologie 14
géodésie 7
glissement gravitaire 89
graben 39, 66, 83, 85

**H**

hachures 9
histoire géologique 75
horizontales (réseau d') 20, 24, 29
hydrographie 8

**I**

image satellitaire 51
imbrication 39
indice (alphanumérique) 13
interprétation photogéologique 51, 52
intrusif (terrain) 43, 113
inversion (de relief) 43
isohypses 8
isopaque 65

**K**

klippe 40

**L**

lacune 93, 101
Lambert (projection ) 7
latitude 13
légende 13
– de carte 13
– des terrains 13
limite 15
– tectonique 15
lithologie 13, 59
lithostratigraphie 13
longitude 13

**M**

marqueur 47, 49
métamorphisme de contact 91
minute de terrain 51
monoclinale 35
mur 37

**N**

nappe 40
nappe de charriage 65
nappe de colluvions 91
neck 40
nivellement 7
notice (de carte) 13

**O**

olistolithe 115
orientation 59, 69
orographie 7

**P**

paléomagnétisme 14
palier 101
pendage (vrai, apparent) 19, 25
pente (topographique) 10
périclinal 87
phase tectonique 109
photographie aérienne 51
photointerprétation 51
plan axial 36
planimétrie 7
plateau 35, 93
pli 38, 89, 97
– anticlinal 45
– de ceintrage 38
– de détachement 38
– de propagation 38
pli-faille 97
plutonisme 40
plutons 40
point coté 9, 69
point géodésique 7
polyphasée (tectonique) 66, 109, 111
profil topographique 59
projection 7

**R**

rampe 101, 107
rebroussement (de couche) 66
regard (d'abrupt) 12
rejet (de faille, décalage) 38
repère (espace, temps) 47
restituteur 7
restitution 7
rétrochevauchement 39
rupture de pente 11

**S**

schéma structural 73
signe (symbole) de pendage 13, 60
sill 40, 50
stéréoscope 51
stéréoscopie 7
structure 35, 59, 81
– faillée 38
– monoclinale 35, 59
– plissée 59
– tabulaire 35, 62, 81
symbole 8, 13
symbole de pendage 15, 18, 20, 60
synclinal 36, 89
synclinal perché 87
syntectonique (dépôt) 107
système, sous-système 14

**T**

télédétection 51
toit 37
topographie 7
toponymie 8, 59, 69
trait de coupe 59
triangulation 7

**V**

V (dans les vallées) 24, 83, 87
variation latérale (faciès, épaisseur) 18, 60, 107
vergence 36